

POLITECNICO DI BARI



I FACOLTA' DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA MECCANICA E
GESTIONALE
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

CONOSCENZA DELLO SPRINGBACK DEL LEGNO LAMINATO E
IL SUO CALCOLO ATTRAVERSO TEST SUL LEGNO LAMINATO
REALE E MEDIANTE IL SOFTWARE ANSYS NELL'AMBITO DEL
PROGETTO VELANTE

Relatore:
Chiar.mo Prof. Ing. Michele Dassisti

Laureando:
Álvaro López Ochoa

ANNO ACCADEMICO 2012-201

SOMMARIO

BLOCCO A

A.1 STUDIO DELLO SPRINGBACK DEL LEGNO	4
A.2 LE PROPRIETÀ IN GENERALE DEL LEGNO	4
A.3 SPRING BACK	5
A.4 FATTORI DI INFLUENZA NELLO SPRING BACK	5
A.4.1 Il legno utilizzato	5
A.4.2 Rapporto tra il raggio di curvatura e lo spessore dell'oggetto	5
A.4.3 Spessore	5
A.4.4 Il tempo della formatura	5
A.4.5 Livello di umidità	5
A.4.6 Processo di curvatura	5
A.4.7 Legno laminato	7
A.4.8 Direzione del curvado e direzione delle fibre del legno	8
A.5 OBIETTIVI SPECIFICI DELLLO STUDIO DELLO SPRINGBACK DEL LEGNO	9
A.6 SCELTA DELLE CONDIZIONI DELLE PROVE	9
A.6.1 Scelta delle dimensione degli stampe	9
A.6.2 Scelta del legno	10
A.6.3 Legno laminato, orientazione delle lamine	11
A.6.4 Scelta dello spessore	12
A.7 LE PROVE	13
A.7.1 metodologia delle probe	15
A.7.2 Stampi utilizzati	17
A.7.3 Colla utilizzata	17
A.8 PROVE FATTE E DISCUSSIONE DELLE PROVE	18
A.9 APPLICAZIONE DELLO SPRINGBACK OTTENUTO NELLE PROVE DEL BLOCCO A NELLA COSTRUZIONE E MODELLAZIONE DELLO SCAFO DI UNA BARCA DI CLASSE IOM (PROGETTO VELANTE)	41
A.10 CONCLUSIONI BLOCCO A	41

BLOCCO B

B.1 AMBITO BLOCCO B	43
B.2 OBIETTIVI	43
B.3 INTRODUZIONE A ANSYS	43
B.3.1 ANSYS Workbench	43
B.3.2 Static Structural	43
B.3.3 Engineering data	44
B.4 LEGNO MATERIALE REALE	44
B.4.1 Modulo di Young	45
B.4.2 Coefficiente Poisson (ν)	46
B.4.3 Modulo di taglio	48
B.4.4 Tensione di snervamento a trazione nella direzione della fibra	49
B.4.5 Tensione di rottura a trazione	50
B.4.6 Trazione perpendicolare alla direzione delle fibre	51

B.4.7 Tensione di snervamento a compressione	51
B.4.8 Tensione di rottura a compressione	51
B.4.9 Compressione perpendicolare alla fibra	52
B.4.10 Taglio	53
B.5 LEGNO MATERIALE ANSYS	54
B.5.1 Considerazione del legno come materiale ortótropo. (<i>Wood1</i>)	55
B.5.2 Considerazione del legno como materiale anisótropo. (<i>Wood2</i>)	56
B.5.3 Considerazioni del legno come materiale isotropico	57
B.5.4 Prove del materiale	57
B.6 CONCLUSIONI BLOCCO B	67
BLOCCO C	
C.1 AMBITO BLOCCO C	69
C.2 OBIETTIVI	69
C.3 INTRODUZIONE A ANSYS	70
C.3.1 il software ANSYS e il modulo LS-DYNA	70
C.3.2 Metodi di risoluzione di entrambe applicazioni	70
C.4 SOLUZIONE ESPLICITE-IMPLICITI	72
C.4.1 Passi nella risoluzione esplicito-implicito	73
C.4.2 limitazione del processo esplicito implicito: la scelta del tipo di elemento.	75
C.5 PROCESSO ESPLICITO	76
C.5.1 Processo esplicito: metodologia e processo di costruzione	76
C.5.2 Ipotesi da partenza process o esplicito	76
C.5.3 La scelta del tipo di elemento	77
C.5.4 Costanti reali.	77
C.5.5 Propietà del materieale.	77
C.5.6 Restrizioni	79
C.5.7 Creazione di geometrie	79
C.5.7 Meshing	81
C.5.7 Il contatto tra le superfici.	83
C.5.8 Carichi	84
C.5.9 Soluzione	87
C.5.10 Risultati	87
C.6 PROCESSO IMPLICITO	89
C.6.1 Ipotesi di partenza del processo implicito	89
C.6.2 Risolvere o caricare l'analisi esplicito.	90
C.6.3 Conversione dei tipi di elementi	90
C.6.4 Definire il modello di materiale	90
C.6.5 Caricare processo esplicito geometria e rimuovere le parti non necessarie	92
C.6.6 l'imposizione di restrizioni	92
C.6.8 Sezione delle lamine	92
C.6.9 Importazione di tensioni	93
C.6.10 Soluzione	93
C.6.11 Risultati	94

C.7 PROVE E RESULTATI	95
C.8 BLOCCO DI PROVE 0: RESTRIZIONI NELLA LAMINA ANALISI	96
C.8.1 Obiettivi	96
C.8.2 Metodología de las pruebas	96
C.8.3 Prove Blocco 0	97
C.8.4 Risultati Blocco 0: restrizioni sul modello.	106
C.9 BLOCCO DI PROVE 1: INFLUENZA DEL NUMERO DI LAMINE NELLO SPRINGBACK.	107
C.9.1 obiettivi	107
C.9.2 Metodología delle prove.	107
C.9.3 Prove blocco 1	108
C.9.4 Risultati Blocco di prove 1: influenza dei nº di lamine nello springback.	120
C.9.5 Conclusioni blocco di prueve 1	121
C.10 BLOCCO DI PROVE 2: INFLUENZA DELL'ORIENTAMENTO DELLE LAMINE NEL SPRINGBACK DEL LEGNO.	122
C.10.1 Obiettivi	122
C.10.2 Metodología delle prove	122
C.10.3 Preve Blocco 2	123
C.10.4 Risultati Blocco di prove 2: influenza dell'orientamento delle lamine nello sprinback del legno laminato.	138
C.10.5 Conclusioni Blocco prove 2	140
C.11 BLOCCO DI PROVE 3: INFLUENZA DELLA TENSIONE DI SNERVAMENTO DEL LEGNO A TRAZIONE	141
C.11.1 Ipotesi	141
C.11.2 Obiettivi	141
C.11.3 Metodología	141
C.11.4 Prove Blocco 3	143
C.11.5 Resultados Bloque Pruebas 3: Influencia del límite elástico de la madera en el cálculo del springback	155
C.11.6 Conclusioni	156
C.12 BLOCCO PROVE 4: INFLUENZA DEL MODULO DI ELASTICITÀ DELLA COLLA NELLO SPRINGBACK DEL LEGNO LAMINATO	157
C.12.1 Ipotesi	157
C.12.2 Obbietivi	157
C.12.3 Metodologia	158
C.12.4 Prove Blocco 4	158
C.12.5 Resutati	159
C.12.6 Conclusioni	160
C.13 CONCLUSIONI DEL BLOCCO C	160
BIBLIOGRAFIA	161
SOMMARIO FIGURE	162
REFERIMENTO EQUAZIONE	
ANEXO	162

BLOCCO A

Recerca di informacione circa lo springback

Realizzazione delle prove per confermare o refutare lo springback
dell'equazione del istituto forestale di Inghilterra

A.1 STUDIO DELLO SPRINGBACK DEL LEGNO

Nel seguente studio sono state fatte diverse prove sul legno, che è stato sottoposto a curvatura, con l'obiettivo di conoscere la tendenza del legno a recuperare la sua forma originale dopo essere stato piegato o spring back. I dati otteniti dallo spring back del legno li utilizziamo nella costruzione e progettazione del plastico di una barca a vela radiocomandata seguendo la categoria IOM, secondo il progetto VELANTE del Politecnico di Bari.

Tutte le prove sul legno sono state realizzate da me, in collaborazione con il professore di *ecodesign* Manuel López, docente della Scuola d'Arte di Corella (Spagna), che ha fornito le installazioni e gli utensili per realizzare lo studio.

A.2 LE PROPRIETÀ IN GENERALE DEL LEGNO

Il legno è un materiale ortotropo.

L'anisotropia, contrariamente all'isotropia, è la proprietà per la quale un determinato materiale ha caratteristiche che dipendono dalla direzione lungo la quale vengono considerate (elasticità, temperatura, conduttività, etc).

Un materiale ortotropo ha due o tre assi perpendicolari tra loro, di doppia simmetria rotazionale, affinché le loro proprietà meccaniche siano sempre diverse nelle direzioni dei suoi assi. I materiali ortotropi sono anisotropi, siccome le loro proprietà dipendono dalla direzione in cui sono misurate. Invece, un materiale isotropo ha le stesse proprietà in tutte le direzioni.

Il legno è un materiale ortotropo, con tre assi perpendicolari nella quale le proprietà, come la resistenza e la rigidità, nella direzione delle fibre e in ogni direzione perpendicolare sono diverse.

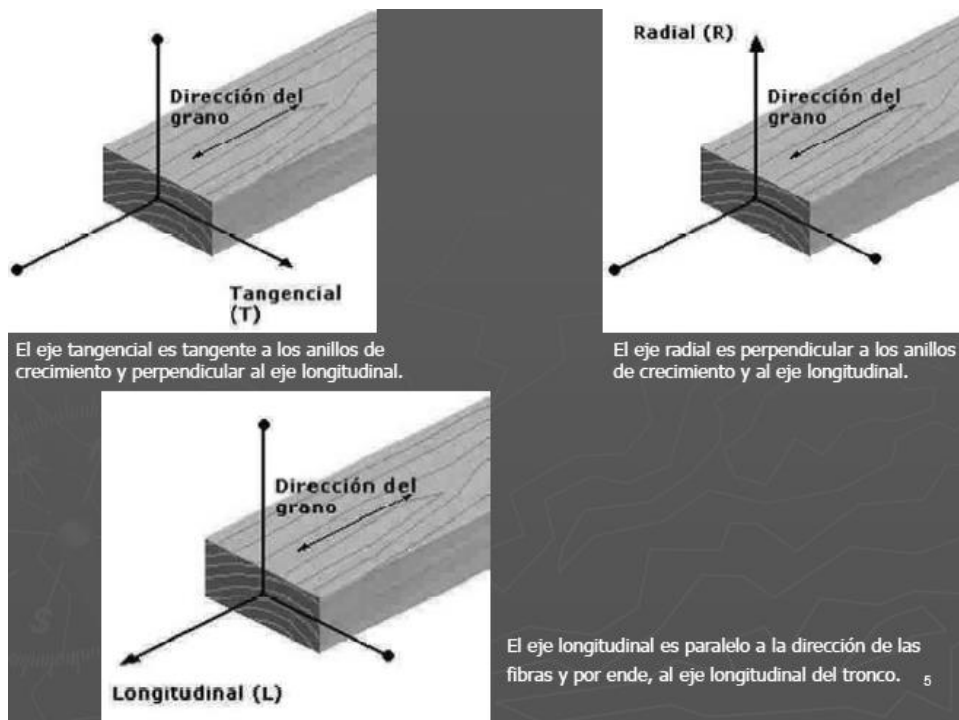


Figura1. Immagine nella se specificano i assi d'ortotropia del legno

A.3 SPRING BACK

Spring back è la condizione che si verifica quando un materiale, al rilascio della forza di formatura, il materiale ha una tendenza a tornare parzialmente alla sua forma originale a causa del ritorno elastico del materiale. A causa del suo ritorno elastico è necessario piegare di più l'oggetto per ottenere il raggio e l'angolo di curvatura desiderati.

Il raggio della curvatura finale (R_{final}) sarà maggiore del raggio desiderato, come l'angolo finale (α_{final}) sarà più piccolo dell'angolo che si vuole ottenere.

La rapporto tra l'angolo di curvatura finale e l'angolo di curvatura iniziale è definito come il fattore di ritorno elastico, K_s .

La percentuale dello spring back $\%S = [100 * (R_{final} - R_{inicial})] / R_{inicial}$

La percentuale dello spring back posseduta da un oggetto dipende da alcuni fattori.

A.4 FATTORI DI INFLUENZA NELLO SPRING BACK

A.4.1 Il legno utilizzato

I legni nervosi hanno maggiore tendenza a deformarsi, a causa della grande differenza tra i coefficienti di contrazione tangenziale e radiale. Essi si classificano in: "molti nervosi", "nervosi" o "poco nervosi".

A.4.2 Rapporto tra il raggio di curvatura e lo spessore dell'oggetto

Più il rapporto raggio/spessore del legno sarà basso, più lo spring back del legno sarà maggiore. Questo perché durante il processo di curvatura viene raggiunta una maggiore tensione all'interno dell'oggetto, superando il limite elastico nella zona di curvatura, plastificandolo, riducendo la tendenza a recuperare la forma iniziale.

A.4.3 Spessore

Più basso è lo spessore più piccolo sarà il raggio di curvatura.

A.4.4 Il tempo della formatura

Maggiore il tempo di formatura, minore sarà lo spring back. Lo spring back si ridurrà fino a un valore limite, nel quale l'incremento del tempo di formatura non cambierà lo spring back.

A.4.5 Livello di umidità

Un livello di umidità alto nell'ambiente durante l'essiccazione tende a "aprire" la curva, cioè tende a incrementare il raggio finale, tuttavia un contenuto di umidità basso tende a "chiudere" la curva.

A.4.6 Processo di curvatura

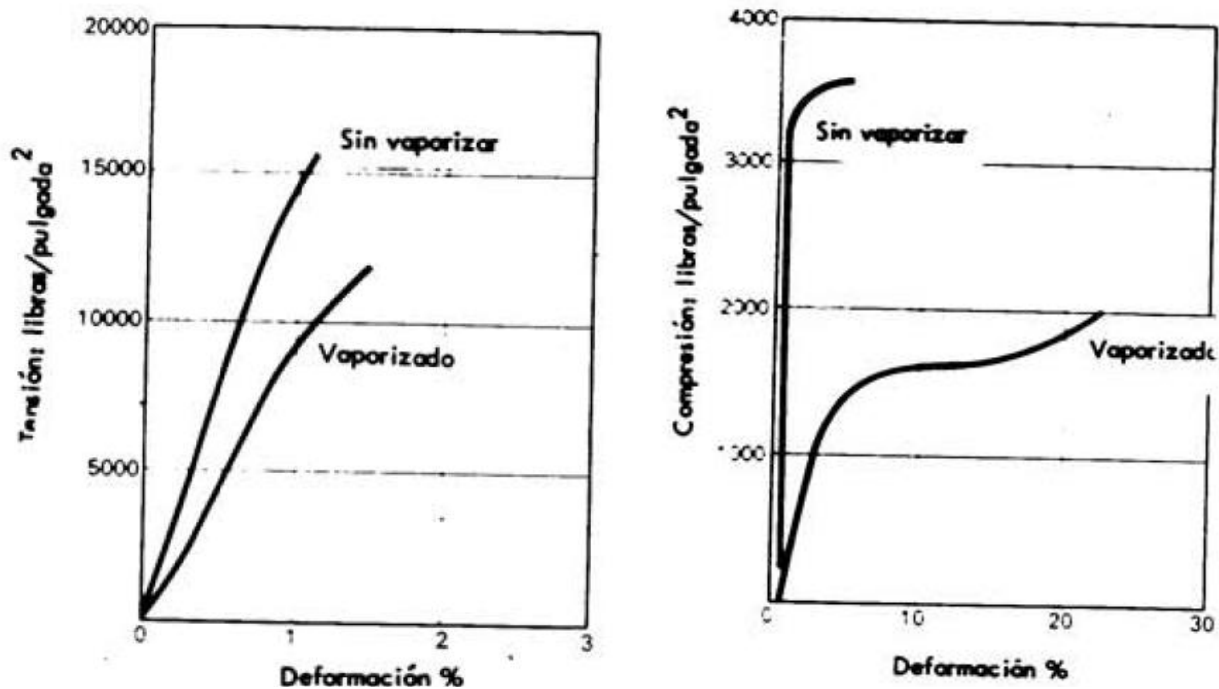
Insieme al laminato, il processo di curvatura è il fattore più importante nello spring back. Si distinguono due tipi di processi di curvatura.

- curvatura a freddo: si piega il legno senza un trattamento precedente.
- Curvatura a vapore: una parte de legni sottoposti a calore con vapore diventano semi-plastici. In condizioni normali, il legno è composto da fibre cellulari, rigidi polimeri cellulosi in una matrice di lignina ed emicellulosa. La lignina è un polimero tridimensionale, amorfo, ramificato, termoplastico, ossia si ammorbidisce col riscaldamento.

La temperatura di transizione vetrosa (T_g) è una transizione caratteristica di tutti i materiali polimerici amorfi (lignina) o parzialmente amorfo. Al di sotto della temperatura di transizione vetrosa, la sostanza è in uno stato solido-fragile come il vetro, al di sopra di questa temperatura il materiale assume uno stato liquido o gommoso. La temperatura di transizione vetrosa della lignina nella matrice è di circa 170°C (338°F).

Al di sopra di questa temperatura, la lignina ottenuta si trasforma in uno stato liquido o malleabile e, quando si abbassa la temperatura, ritorna a la sua struttura iniziale. Questo è il concetto principale del legno curvato. La temperatura di transizione vetrosa della matrice può essere diminuita con l'aggiunta di vapore, in modo che ad una temperatura di 100°C ed una umidità relativa del 25-30%, il legno diventa semiplastico.

In queste condizioni la compressibilità aumenta, tensioni relativamente ridotte possono produrre deformazioni importanti senza la rottura del legno. Questo trattamento ha poca influenza nella tensione ammissibile di trazione, pertanto il raggio di curvatura dipenderà dalla tensione ammissibile di trazione e dalla deformazione delle fibre nel lato convesso.



Fieigura2. Representazione delle curve tensione-deformazione del legno faggio per trazione e comprezione, con processo di vaporizzato e senza di esso

in un oggetto curvato senza trattamento, la linea neutra, in cui non c'è variazione di lunghezza, si trova approssimativamente equidistante tra il lato convesso e quello concavo. Nel legno trattato la linea neutra si sposta al lato convesso. In questo modo, la sezione di legno sottoposta a trazione si riduce molto, ottenendo raggi di curvature minori.

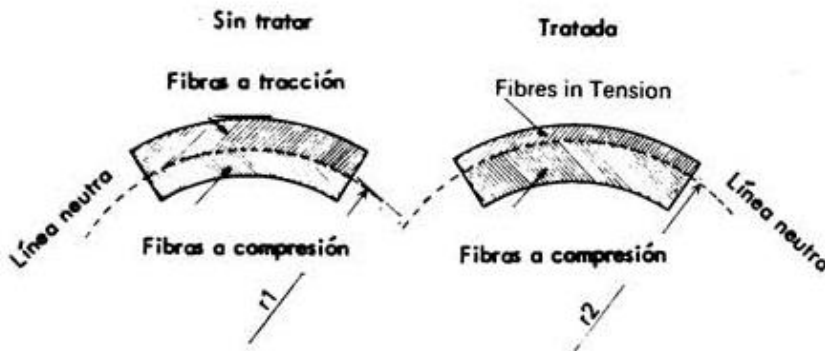


Figura3. Effetti di vaporizzato nella posizione nella línea neutra

in conclusione: i legni trattati con vapore hanno una tendenza maggiore a mantenere la propria forma dopo la curvatura, riducendo lo spring back, specialmente se viene essiccato quando il materiale è soggetto. Inoltre con questo processo si conseguono raggi di curvature minori.

A.4.7 Legno laminato

Tutti i legni possono piegare a freddo fino a un certo valore senza rompersi e da quelli di poco spessore si possono ottenere raggi di curvature piccoli. La soggettazione può ottenersi attaccando gli oggetti a una struttura rigida o attaccando tra di essi vari oggetti curvati concentrici in modo che siano impossibile. Questo ultimo metodo si conosce come curvado a laminacione.

Nel curvado a laminacion si attaccano oggetti di piccolo spessore con le fibre approssimativamente parallele y si curvano tutti insieme nello stesso stampo. Non si utilizza nessuna utensile di soggezione nei lati del legno, di modo che le lamine si scivolano gli lamine sopra altre lamine durante il processo. Il congiunto è formato di una successione di lamine curvade unite tra esse, generalmente con colla. Quando la colla si è essiccata le lamine ora non possono scivolare, quindi devono trattenere la forma curva.

Ogni lamina di un legno curvado tende a recuperare la sua forma originale e, se non fosse per la forza di adesione della colla, la curva si rettificerebbe quando si toglierebbero i forzi da fuori. Al tirare fuori dello stampo un oggetto laminato curvo appaiono tensioni nella linea di colla per la tendenza al raddrizzamento del legno. Questo si interrompe quando il momento resistente dell'oggetto è uguale ai momenti residuali del curvado nelle lamine. I sforzi taglienti nella linea di colla sono maggiori nell'estremo della curva che nel centro. Pertanto i movimenti di raddrizzamento delle lamine sono più permanenti vicino dell'estremi delle lamine.

La percentuale dello spring back si ottiene segun questa formula, ottenuta per il laboratorio di studi forestali de Inghilterra

$$\%S=100/[(n^2)-1]$$

n: numero de lamina. [1]

Applicando questa formula quando si usano due lamine, il %S è del 33.5%, se si aumenta il numero di lamine a cinque, il %S non sarà maggiore del 4%. Nella realtà, a volte, questi movimenti sono occultati per modifiche nel raggio di curvatura a causa di variazioni dell'umidità.

Durante il studio si comparano i dati ottenuti delle prove con i dati teorici dello spring back della formula anteriore.

Ventaggi del processo di laminato:

- Si possono ottenere oggetti di grande spessore con raggi di curvatura piccoli.
- Si può usare legno con difetti nodi
- Si risparmia legno.
- La consolidazione della curvatura è più veloce che nel processo normale di curvatura di legno.

A.4.8 Direzione del curvado e direzione delle fibre del legno

Lo spring back è diverso il curvado sia nel senso perpendicolare alle fibre o nel senso longitudinale.

Curvado perpendicolare alla fibra: a causa dell'anisotropia del legno la tensione è diversa se si curva nel senso longitudinale, radiale o tangenziale. Nel curvado perpendicolare alla fibra, il legno si curva nella sua direzione più debole. Un oggetto curvado nel senso perpendicolare alla fibra è meno rigido che un altro curvado nella direzione perpendicolare. Pertanto quello oggetto tende a muoversi più quando si tura fuori dallo stampo. Lo spring back è maggiore se il curvado è perpendicolare alla direzione delle fibre.

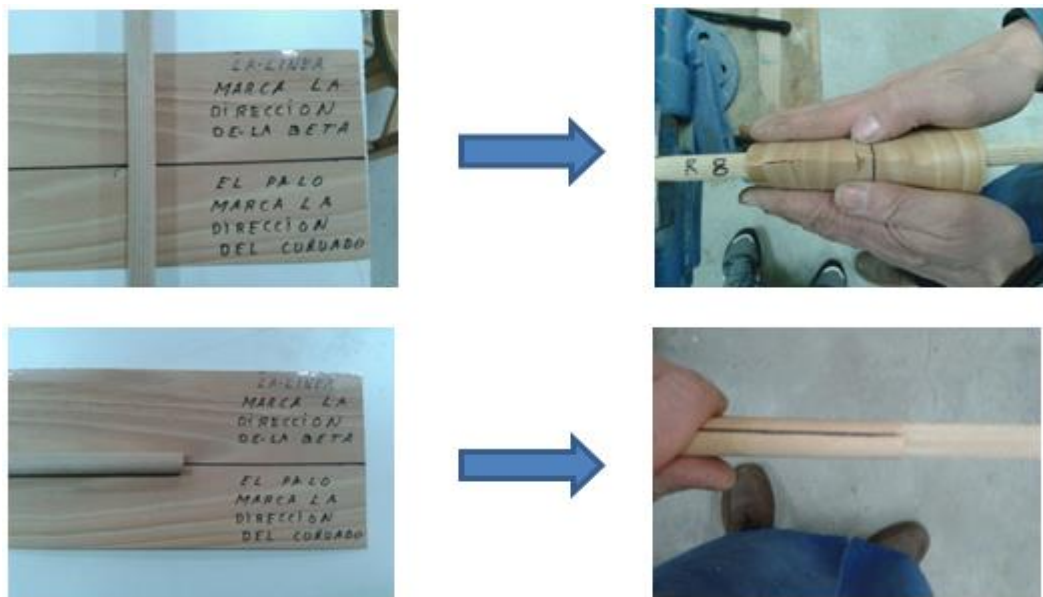


Figura4. Sequenza delle prove di raggio di curvatura secondo l'orientamento delle fibre

come si osserva nella sequenza prima, utilizzando lo stesso raggio minimo di curvatura, 8mm, la lamina curvata nella direzione longitudinale alle fibre si frattura, tuttavia nella lamina curvata nella direzione perpendicolare alle fibre non si frattura

In conclusione, per lamine curvate nella direzione perpendicolare alle fibre il raggio minimo di curvatura è minore che le lamine curvate nella direzione longitudinale, tuttavia lo spring back è maggiore.

A.5 OBIETTIVI SPECIFICI DELLO STUDIO DELLO SPRINGBACK DEL LEGNO

Ottenere il raggio minimo di curvatura prima della frattura del legno di faggio in un processo di curvatura a freddo.

- La percentuale dello spring back del legno di faggio in funzione del raggio di curvatura per lo stesso tempo di formatura. Processo di curvatura a freddo.
- La percentuale dello spring back del legno di faggio in funzione del tempo di formatura per lo stesso raggio di curvatura. Processo di curvatura a freddo.
- Ottenere il raggio minimo di curvatura del legno in un processo di curvatura a vapore.
- La percentuale dello spring back del legno di faggio in funzione del raggio di curvatura per lo stesso tempo di formatura. Processo di curvatura a vapore.
- Confronto della percentuale dello spring back dipendendo del processo, processo a freddo o processo a vapore.
- Raggio minimo di curvatura per lamine incollate (senza processo di precurvatura).
- La percentuale dello spring back in funzione del raggio di curvatura per lo stesso numero di lamine (senza processo di precurvatura).
- La percentuale dello spring back in funzione del numero di lamine per lo stesso raggio di curvatura (senza processo di precurvatura).
- Raggio minimo di curvatura per lamine incollate (senza processo di precurvatura).
- La percentuale dello spring back in funzione del raggio di curvatura per lo stesso numero di lamine (senza processo di precurvatura).
- La percentuale dello spring back in funzione del numero di lamine per lo stesso raggio di curvatura (senza processo di precurvatura).
- Confronto della percentuale dello spring back dipendendo del processo di curvatura utilizzato. Legno laminato.
- Confronto di tutti questi parametri con la equazione [1]

A.6 SCELTA DELLE CONDIZIONI DELLE PROVE

A.6.1 Scelta delle dimensioni degli stampi

La applicazione di questo studio è la conoscenza previa dello spring back del legno per la corretta costruzione di una barca a vela della categoria IOM. Perciò si ha fatto uno studio statistico delle misure della larghezza massima di barche della categoria IOM, con l'obiettivo di fare stampi di curvatura del legno che mostrano dati interessanti per la costruzione

dello scafo, cioè, il raggio di curvatura massimo y minimo della barca deve essere compreso tra il raggio di curvatura massimo y minimo degli stampo

Velero	Eslora (L)	Manga (B)	Desplazamiento (∇)
SEAWIND Carbón	998	226	2,800
FAIRWIND III	914	230	4,000
FLY EMIRATES	993	173	3500
CHINA TEAM	1000	172	3500
SEA WIND	998	226	3000
VOAYAGER II	1000	160	3500
MIRAMARE	1000	246	3800

Guardando la tavella precedente, la larghezza massima(B) media degli scafi è di 210mm, cioè, se suppongono che lo scafo a forma circonferenziale, il raggio di curvatura della barca nel senso trasversale è di 105 mm

Perciò il raggio di curvatura maggiore dello stampo è di 120mm, comprendendo la larghezza massima di quasi tutte le barche. Inoltre facciamo altri stampi di raggi di curvatura de 20, 15, 10mm rispettivamente, conoscendo il raggio di frattura del legno e lo spring back in raggi di curvatura minori, essi saranno i raggi più vicini alla prua.

A.6.2 Scelta del legno

Il legno scelto per lo studio è il faggio, a causa di sue più buone proprietà meccaniche y anche per il curvado. L'alborno e il durame hanno un colore che varia di un arancio bianco a un rosa chiaro. I raggi legni sono visibili nella sezione tangenziale e sono distribuisce discontinuamente in piccole line. Sua fibra e retta e il grano e fino, questo fa che le fibre lavorano pienamente nel senso corretto, favorendo il curvado.

En contraposte il legno di faggio e nervoso, pertanto ha una tendenza a torcersi e aprirsi durante l'essiccazione.

Le proprietà fisiche del legno di faggio sono:

Propiedades físicas:

Densidad: 690-710-750 kg/m³

Contracción: Medianamente nerviosa-Nerviosa

Coefficientes de contracción: total (unitario)

- volumétrica: 18,6-24,6 % (0,45-0,62)
 - tangencial: 12,0-15,0 % (0,26-0,50)
 - radial: 5,0-8,0 % (0,12-0,30)

Dureza: 4,0 Semidura

Le proprietà meccaniche del legno di faggio sono:

Propiedades mecánicas:

Madera libre de defectos:

- Flexión estática:	90-166 N/mm ²
- Módulo de elasticidad:	12.300-16.400 N/mm ²
- Compresión axial:	52-64 N/mm ²
- Compresión perpendicular:	12 N/mm ²
- Cortante:	7,7-10 N/mm ²
- Flexión dinámica:	4,4-8,8-12,0 J/cm

A.6.3 Legno laminato, orientazione delle lamine

In nostro studio le lamine non si incollano con una disposizione parallela delle fibre, sennó ogni lamia a una perpendicolarità nella direzione delle fibre con la sua seguente e la sua predecessora. Le prove le facciamo così perché nel processo di costruzione dello scafo una lamina si curvano nel senso trasversale e altre nel senso longitudinale della barca, pertanto le direzione delle fibre sarà sfasata 90°.

La prima immagine rappresenta lo scafo della barca modellata tramite il programma di disegno per computer Autocad, le immagini seguenti rappresentano le prospettive esplose di due porzioni della costruzione dello scafo.

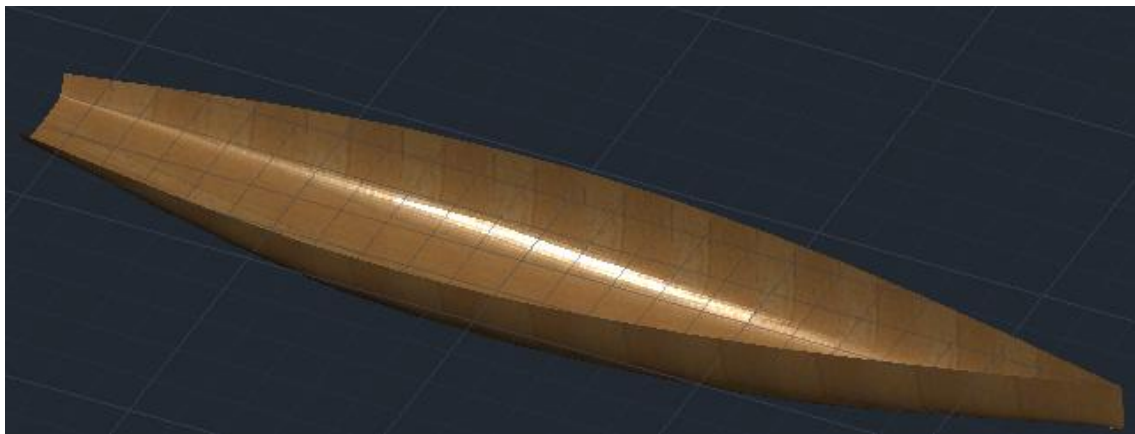


Figura5 . Scafo di legno laminato modellato tramite Autocad. Disegno proprio.

Nella prima prospettiva esplosa i strati di lamine si curvano di forma perpendicolare alla barca, cioè di sinistra a dritta e si incollano una sopra le altre. Di questa forma di costruzione non si assicura la tenuta dello scafo.

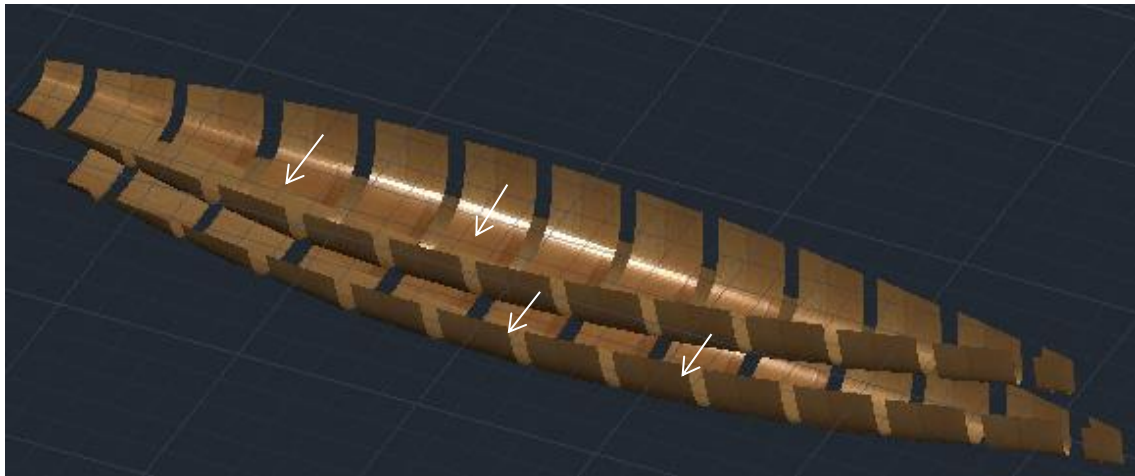


Figura6 . Scafo esploso di legno laminato. Le lamine nel stesso senso delle fibre.
Disegno proprio.

Nella seconda immagine uno strato si curvano di sinistra a dritta mentre il seguente strato si curvano di prua a poppa. Così tutte le lamine sono uniti tra esse y si assicura la corretta tenuta dello scafo.

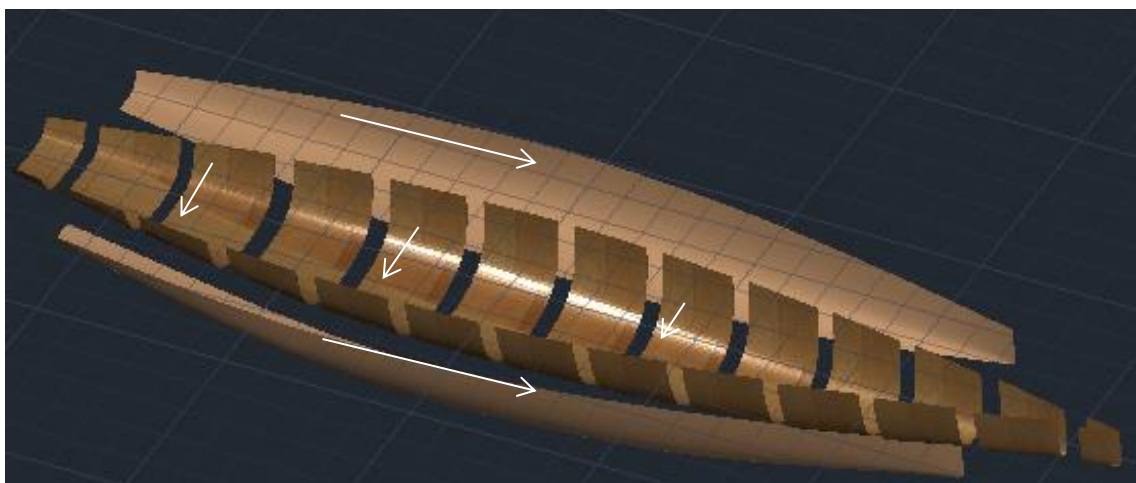


Figura7 . Scafo esploso di legno laminato. Le lamine sono curvate nei due direzioni Disegno proprio.

A.6.4 Scelta dello spessore

Lo spessore utilizzato per fare le probe è di 0.6mm. La scelta dello spessore si deve a:

- Esistenza nel mercato: esistono moltitudine di aziende che commerciano lamine per la finitura in legno di mobile.
- Economia: si possono fare molte probe con scarso materiale

- Facilità nel curvado: le lamine hanno un minore spessore, perciò si riducono la forza utilizzata per curvare il legno, riducendosi l'uso di macchinario e, pertanto il costo.
- L'applicazione nel progetto VELANTE: si fanno unioni laminate di 3,4,5,9 lamine, ottenendo spessori (1.8; 2.4; 3; 5.4mm rispettivamente) con una applicazione reale nella costruzione di uno scafo per una barca seguendo la categoria IOM per il progetto VELANTE.

A.7 LE PROVE

Lo spring back dipende da fattori come lo spessore, la casse di processo utilizzato durante il curvado, il tipo di materiale, il raggio di curvatura e il tempo di formatura, qualche di questi parametri sono studiati nelle prove con l'obiettivo di ottenere dati dello spring back più globali possibili.

Si fanno 42 prove.

Il congiunto di prove fatte si dividono in tre gruppi, un gruppo di legno, altro di legno laminato e altro gruppo dove si fanno prove sul raggio minimo di curvatura.

- Una lamina: le prove sono fatte con una lamina di legno di faggio di 0.6mm di spessore. Questo gruppo si divide in funzione del processo utilizzato (curvado a freddo o curvado a vapore), il raggio di curvatura e il tempo di formatura.
- Più di una lamina (legno laminato): questo gruppo si divide in funzione del numero di lamine, e ogni uno di questi subgruppi si dividono in funzione del processo utilizzato e del raggio di curvatura. In questa occasione il tempo di formatura è stato invariabile, dato che il tempo di formatura e funzione del tempo di essiccato della colla.
- Raggio minimo prima di frattura della lamina



Figura8. Prova nº 42: raggio minimo di curvatura prima di frattura

Nella tabellina 1 si mostrano più chiaramente le prove

Gruppo	Nº di lamine	Processo di curvato	Raggio finale(mm)	situazione
raggio minimo frattura	1 lamina	processo curvado a freddo	9	frattura
		processo curvado a vapore a pressione atmosferica	4	

Grupo	Nº di lamine	Proceso di curvato	Raggio (mm)	Raggio finale(mm)	Spring back (%)	Tº formatura (h)	Angolo iniziale (º)	Angolo finale(º)
Legno	1 lamina	processo curvado a freddo	120	300	150	2	180	72
			20	80	300	2	180	45
			15	70	366,666667	2	180	38,5714286
			10	25	150	2	180	72
			120	265	120,833333	4	180	81,509434
			20	70	250	4	180	51,4285714
			15	40	166,666667	4	180	67,5
			10	15	50	4	180	120
			120	265	120,833333	6	180	81,509434
			20	55	175	6	180	65,4545455
			15	35	133,333333	6	180	77,1428571
			10	13	30	6	180	138,461539
		processo curvado a vapore a pressione atmosferica	120	140	16,6666667	24	180	154,285714
			20	22	10	24	180	163,636364
			15	16,2	8	24	180	166,666667
			10	10,45	4,5	24	180	172,248804
Legno laminato	3 lamine	processo curvado a freddo	120	134,5	12,0833333	24	180	160,594796
			20	22,36	11,8	24	180	161,001789
			15	16,5	10	24	180	163,636364
			10	10,7	7	24	180	168,224299
	4 lamine	processo curvado a freddo	120	126,5	5,41666667	24	180	170,750988
			20	21	5	24	180	171,428571
			15	15,72	4,8	24	180	171,755725
			10	10,4	4	24	180	173,076923
	5 lamine	processo curvado a freddo	120	125	4,16666667	24	180	172,8
			20	20,75	3,75	24	180	173,493976
			15	15,5	3,33333333	24	180	174,193548
			10	10,15	1,5	24	180	177,339902
	9 lamine	processo curvado a freddo	120	121	0,83333333	24	180	178,512397
			20	20,1	0,5	24	180	179,104478
			15	15,08	0,53333333	24	180	179,045093
			10	10,1	1	24	180	178,217822

A.7.1 metodologia delle probe

- Legno no laminato

- Curvado a freddo: si mette il legno nello stampo, il legno si curva nello stampo dovuto alla pressione. Lo stampo e l'oggetto si soggettano di forma che la pressione sull'oggetto sia uniforme. Una volta ultimato el tempo di formatura si tira fuori l'oggetto dello stampo, si misura il raggio e si paragona con il raggio teorico.
- Curvado a vapore: si sommerge il legno in un recipiente con acqua bollente con un rapporto tra tempo e spessore di 1.8 minuti per mm di spessore de l'oggetto. A seguire si mette nello stampo e si soggetta. Nel corso del processo a vapore al processo di formatura el tempo non è più di 15 secondi, pertanto il legno non perde umidità nemmeno temperatura durante tragitto. La restante del processo è come nel curvado a freddo.



Figura9. Processo di curvado a vapore

- Legno laminato

- Curvado a freddo: si incollano le lamine una supra la altra. Una laminina e la sua adiacente hanno una perpendicolarità di 90° trà esse nel senso della fibra. In congiunti laminati dispari, la prima lamina e la ultima si curveranno nel senso longitudinale della fibra.



Figura10. Curvado nel senso longitudinale della fibra

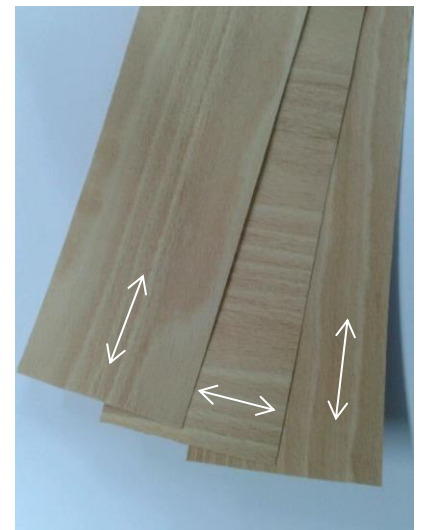


Figura 11. Disposizione delle

Dopo si fa la formatura. Il tempo di formatura dipende della colla, la temperatura e la umidità. Nei test di legno laminato il tempo di formatura e si 24 hore. Dopo si misura.



Figura12. Processo di formatura del legno laminato incollato



Figura13. Probe nº22. Misura del diámetro final

- Curvado con precurvado: si sottopongono le lamine a vapore, si mettono nello stampo (senza colla) nella posizione corretta e si fa il processo di formatura. Dopo una hora, le lamine si tirano fuori dello stampo , si incollano e si mettono nello stampo una altra volta più. Una volta ultimato il tempo di formatura di 24 hore si misura l'oggetto.



Figura14. Cámara di vapore

A la fine non si hanno potuto fare queste prove perché canchava tempo.

▪ Raggio minimo

Curvado del legno in raggi successivamente più piccoli fino alla frattura, di solito per tensione a trazione nel lato esterno nella lamina.

A.7.2 Stampi utilizzati

Si hanno costruiti 4 stampi in legno mazziccio i cui raggi sono 120, 20, 15, 10mm rispettivamente. Quegli stampi avranno la funzione di formatura, curvando il legno. Una condizione indispensabile è che gli stampi siano molto rigidi, pertanto lo stampo non si deformeranno a causa di la pressione durante il processo di curvado del legno e, cosí non avrà sbagli nel raggio di curvature degli oggetti a sturdire.

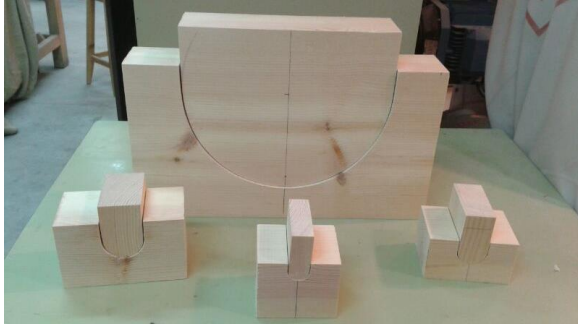


Figura15. Foto dei cuatri stampi utilizzati nel corso delle probe

Gli stampi sono composti per stampi e controstampo, di questa forma la pressione su l'oggetto curvato è più uniforme e i risultati migliori e più affidabili. Nella fase di formatura si utilizzano utensili per pplicare pressione in direzioni diverse.



Figura16. Foto del proceso di formatura

A.7.3 Colla utilizzata

E stata utilizzata una colla bianca normale per legno, utilizzata normalmente in processi di costruzione di mobili



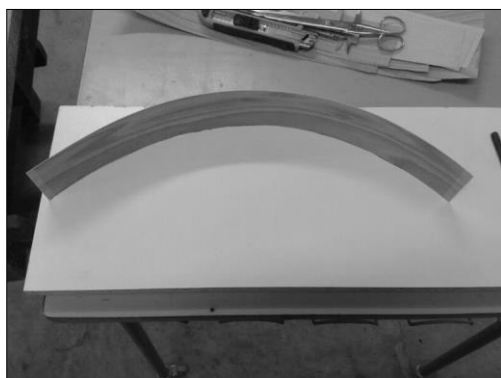
Figura17. Colla



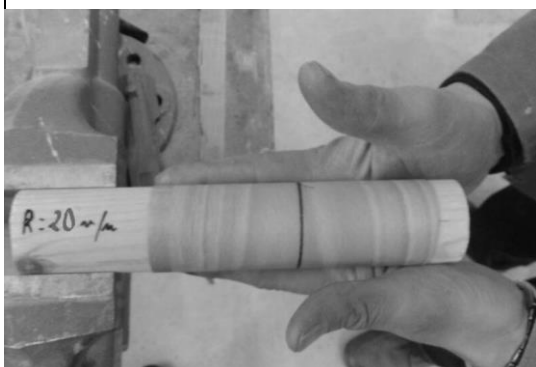
Figura18. Tutte le prove che ho fatto in collaborazione con la Scola d'Arte da Corella, Navarra, Spagna

A.8 PROVE FATTE E DISCUSIONE DELLE PROVE

A continuazione si mostrano tutte le prove fatte e si discute tutti i risultati ottenuti.

PROBA nº 1


Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo della formatura		2 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	120mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	300mm	72º
Percentuale dello spring back		150%	

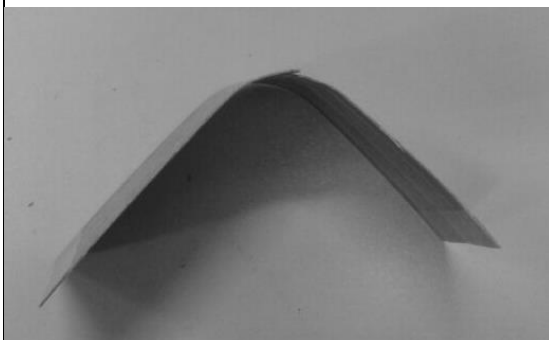
PROBA nº 2


Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo della formatura		2 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	20mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	80mm	45º
Percentuale dello spring back		300%	

PROBA nº 3

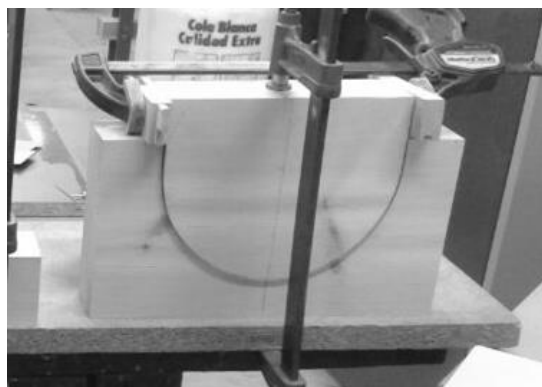

Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo della formatura		2 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	15mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	70mm	38.5714º
Percentuale dello spring back		366%	

PROBA nº 4



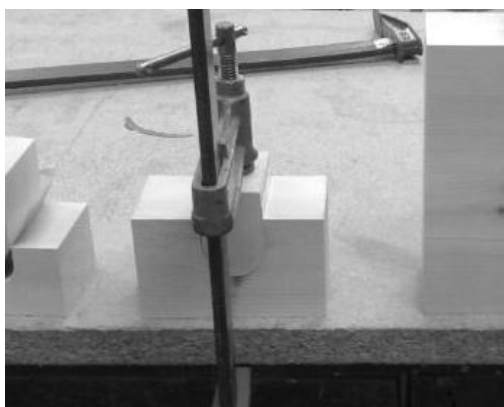
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo della formatura		2 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	10mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	25mm	72º
Percentuale dello spring back		150%	

PROBA nº 5



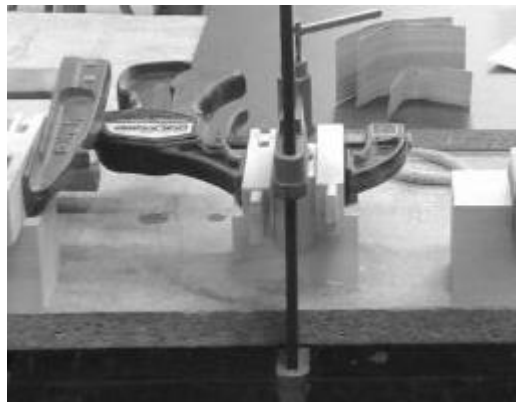
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo della formatura		4 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	120mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	265mm	81.5094º
Percentuale dello spring back		120%	

PROBA nº 6



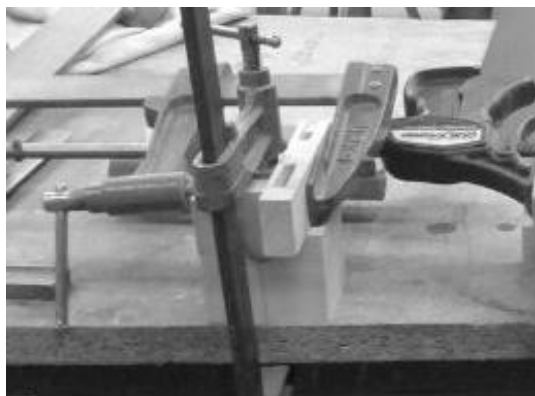
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo della formatura		4 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	20mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	70mm	51.4285º
Percentuale dello spring back		250%	

PROBA nº 7



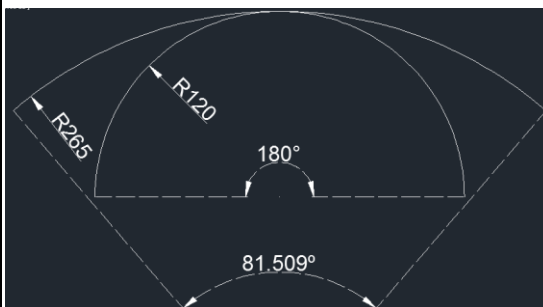
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo delle formatura		4 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	15mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	40mm	67.5º
Percentuale dello spring back		166%	

PROBA nº 8



Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo della formatura		4 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	10mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	15mm	120º
Percentuale dello spring back		50%	

PROBA nº 9



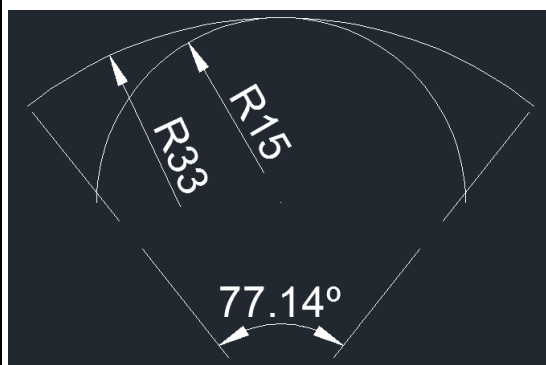
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo della formatura		6 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	120mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	265mm	81.5094
Percentuale dello spring back		120%	

PROBA nº 10



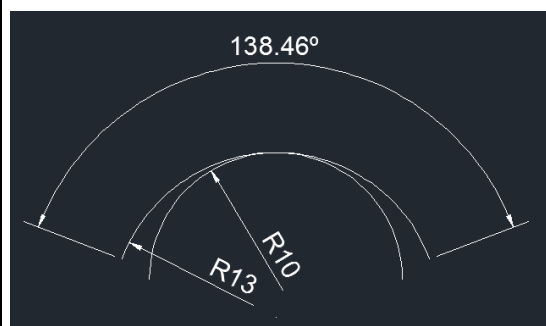
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo delle formatura		6 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	20mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	55mm	64.4545º
Percentuale dello spring back		175%	

PROBA nº 11



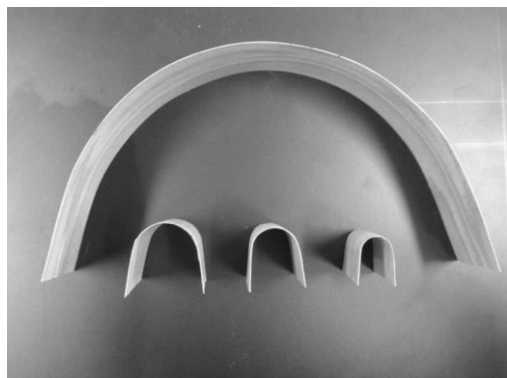
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo della formatura		6 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	15mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	35mm	77.1428º
Percentuale dello spring back		133,33%	

PROBA nº 12



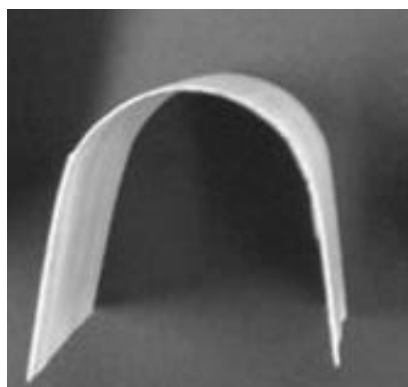
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo della formatura		6 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	10mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	13mm	138.4615º
Percentuale dello spring back		30%	

PROBA nº 13



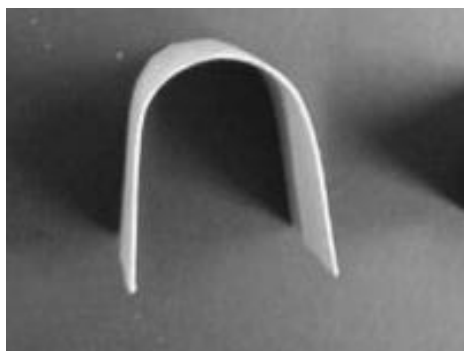
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a vapore	
Tempo della formatura		12 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	120mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	140mm	154.2857º
Percentuale dello spring back		16.66%	

PROBA nº 14



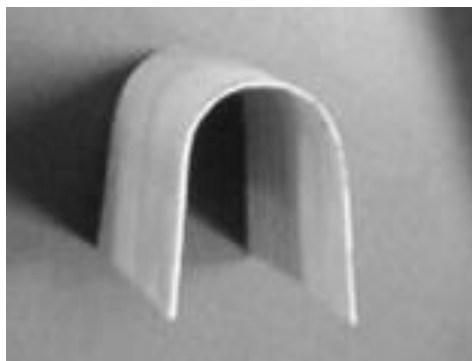
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a vapore	
Tempo della formatura		12 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	20mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	22mm	163.6364º
Percentuale dello spring back		10%	

PROBA nº 15



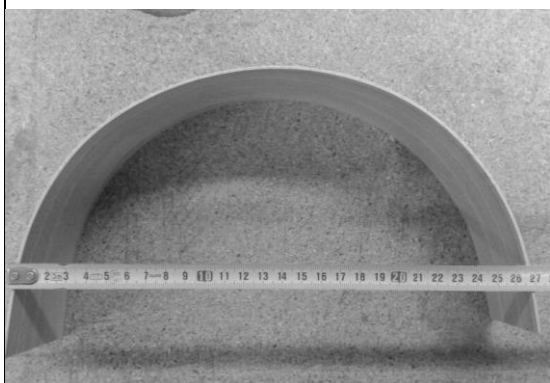
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a vapore	
Tempo della formatura		12 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	15mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	16.2mm	166.66º
Percentuale dello spring back		8%	

PROBA nº 16



Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a vapore	
Tempo della formatura		12 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	10mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	10.45mm	172.249º
Percentuale dello spring back		4.5%	

PROBA nº 16



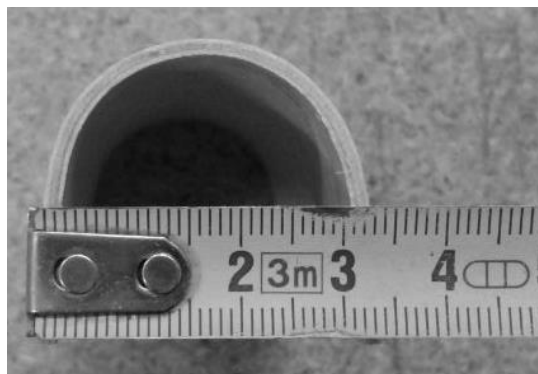
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		3	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo della formatura		24 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	120mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	134.5	160.595º
Percentuale dello spring back		12.083%	

PRUEBA nº 16



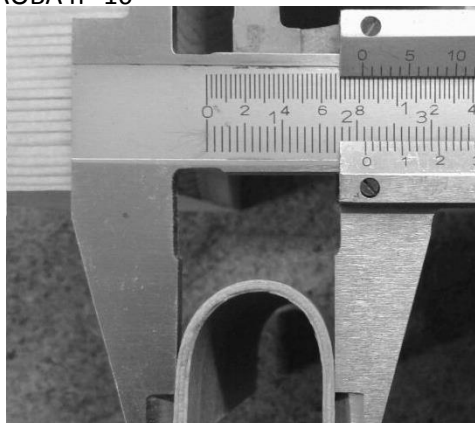
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		3	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo della formatura		24 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	20mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	22.36mm	161.001º
Percentuale dello spring back		11.8%	

PROBA nº 16



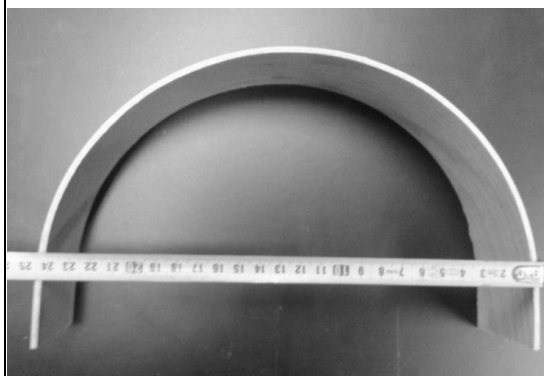
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		3	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo della termatura		24 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	15mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	16.5mm	163.636º
Percentuale dello spring back		10%	

PROBA nº 16



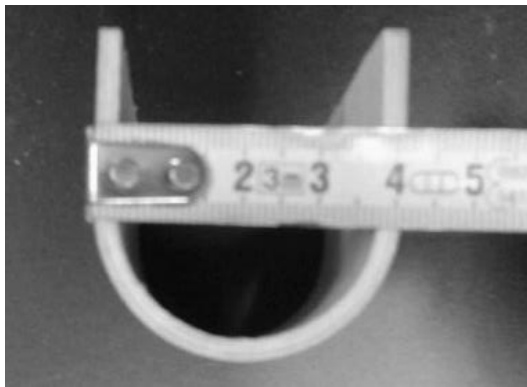
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		3	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo della formatura		24 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo inicial	10mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	10.7mm	168.224º
Percentuale dello spring back		9.6%	

PROBA nº 17



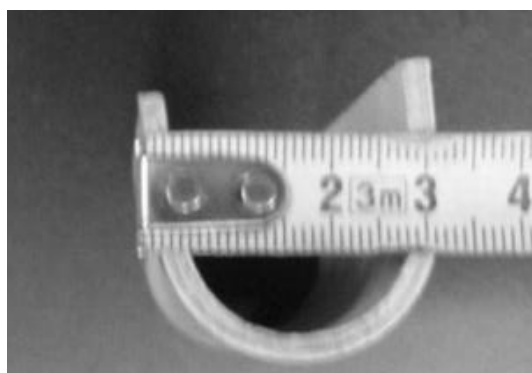
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		5	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo di formatura		24 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo inicial	120mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	125mm	172.8º
Percentuale dello spring back		4.16%	

PROBA nº 18



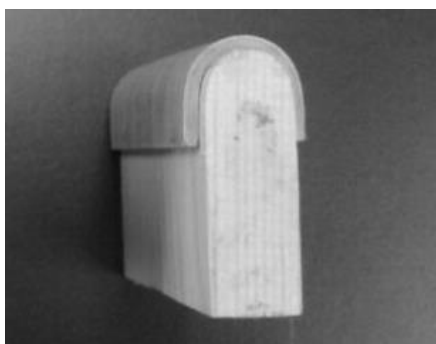
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		5	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo di formatura		24 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	20mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	20.75mm	173.4939º
Percentuale dello spring back		3.75%	

PROBA nº 19



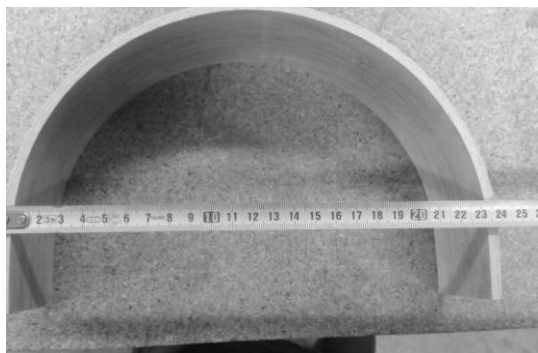
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		5	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo di formatura		24 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	15mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	15.5mm	174.1935º
Percentuale dello spring back		3.33%	

PROBA nº 20



Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		5	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo di formatura		24 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	10mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	10.15mm	177.3399º
Percentuale dello spring back		1.5%	

PROBA nº 21



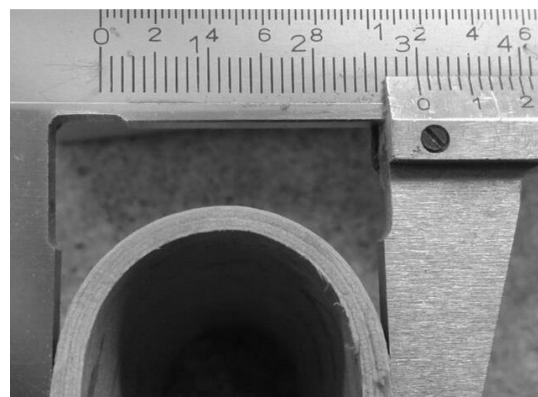
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		9	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo di formatura		24 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	120mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	119mm	181.5126º
Percentuale dello spring back		-0.83%	

PROBA nº 22



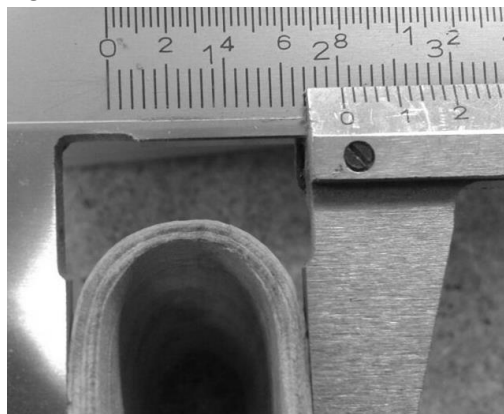
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		9	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo di formatura		24 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	20mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	20.1mm	179.1044º
Percentuale dello spring back		0.5%	

PROBA nº 23



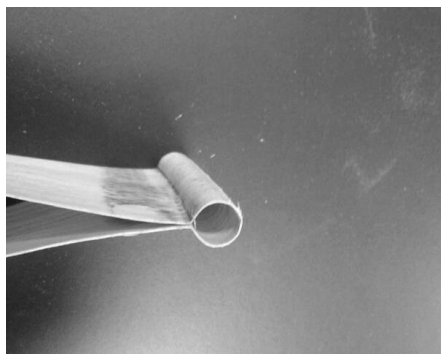
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		9	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo de prensado		24 ore	
Cola usada			
Radio inicial	Ángulo inicial	15mm	180º
Radio final	Ángulo final	15.08mm	179.0450º
Porcentaje de Retroceso		0.533%	

PROBA nº 24



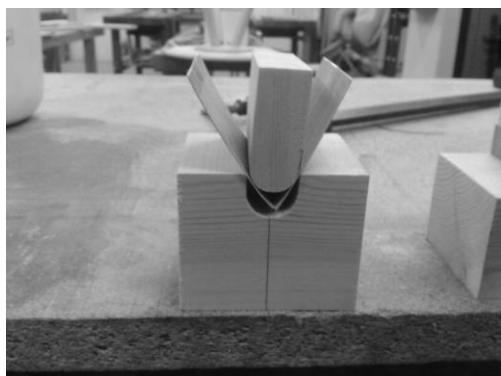
Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		9	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo di formatura		24 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo iniziale	10mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	10.12mm	177.8656º
Percentuale dello spring back		1.2%	

PROBA nº 21

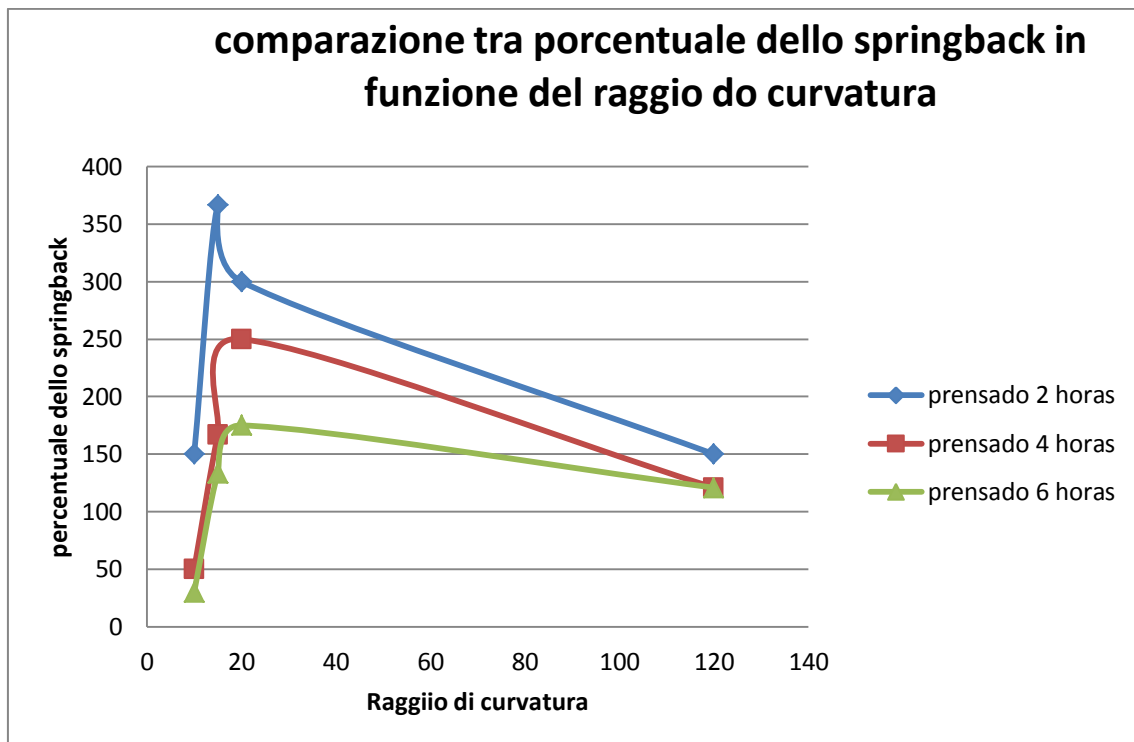


Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a vapore	
Raggio minimo prima di fractura (mm)		10mm	

PROBA nº 21



Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		1	
Processo		Curvado a vapore	
Raggio minimo prima di fractura (mm)		10mm	

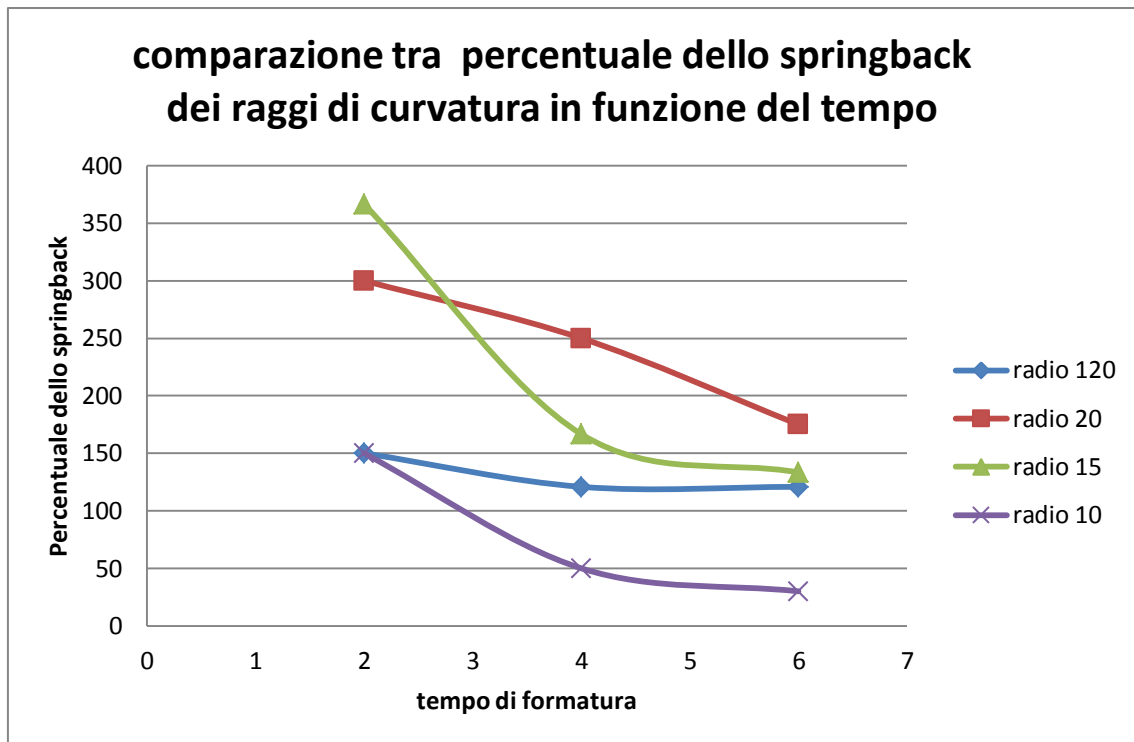


Come si vede nel grafico la percentuale dello spring back aumenta come si fa più piccolo il raggio di curvatura, fino a un valore massimo nel quale il valore dello spring back diminuisce. Le tensioni nell'interno del legno aumentano come si riduce il raggio di curvatura e, pertanto la percentuale dello spring back cresce. Questa tendenza continua fino le tensioni nell'interno del legno superano il limite elastico del legno, producendosi il fenomeno della plastificazione della zona. Dopo questo valore di tensione limite lo spring back si ridurre come si vede nel grafico. Dovuto alle proprietà della prastificazione il legno ha una maggiore tendenza a mantenere la sua forma.

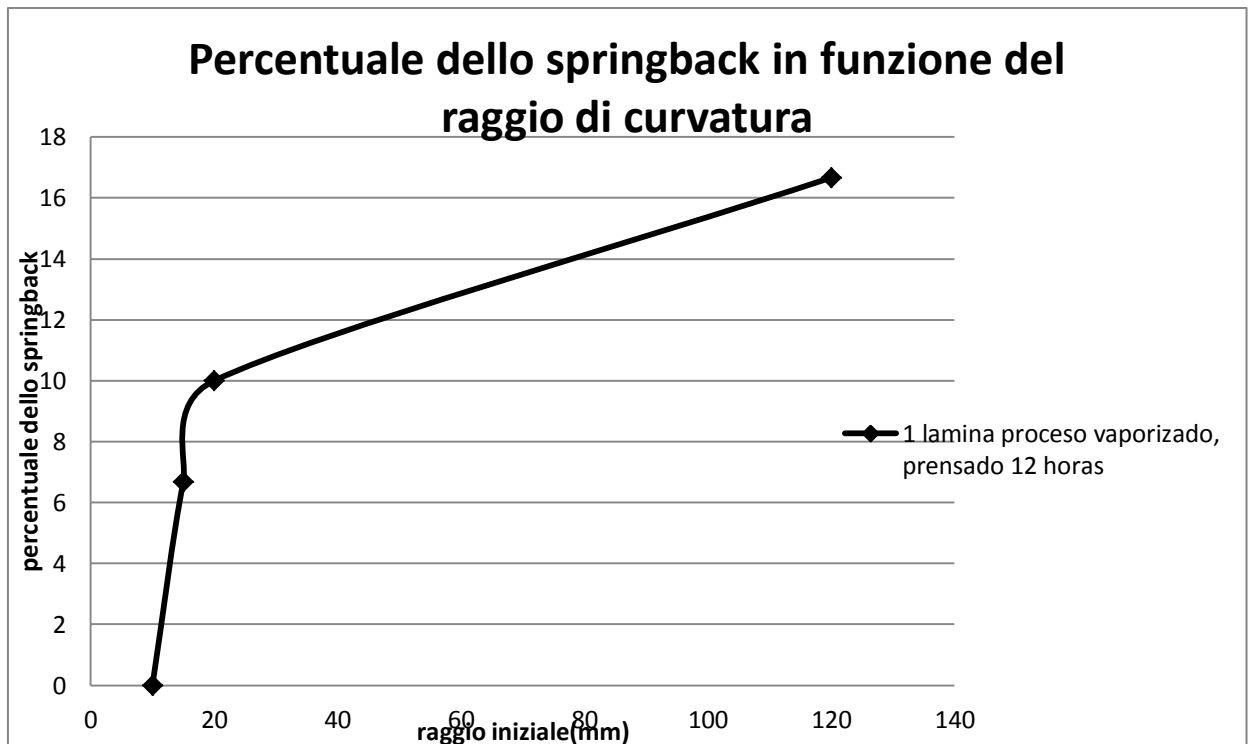
Visto che il lengo non he un materiale duttile, una volta superato il limite elastico il legno può essere fratturato in qualche momento

Il raggio di curvatura nel che comincia la plastificazione del legno e inoltre la disminuzione dello spring back dipende dello spessore del legno, il tipo di legno e del processo de curvado utlizzato, come vedremo dopo.

Segun i dati ottenuti delle probe verso il raggio di 20mm si produce la plastificazione per il faggio di 0.6mm di spessore.

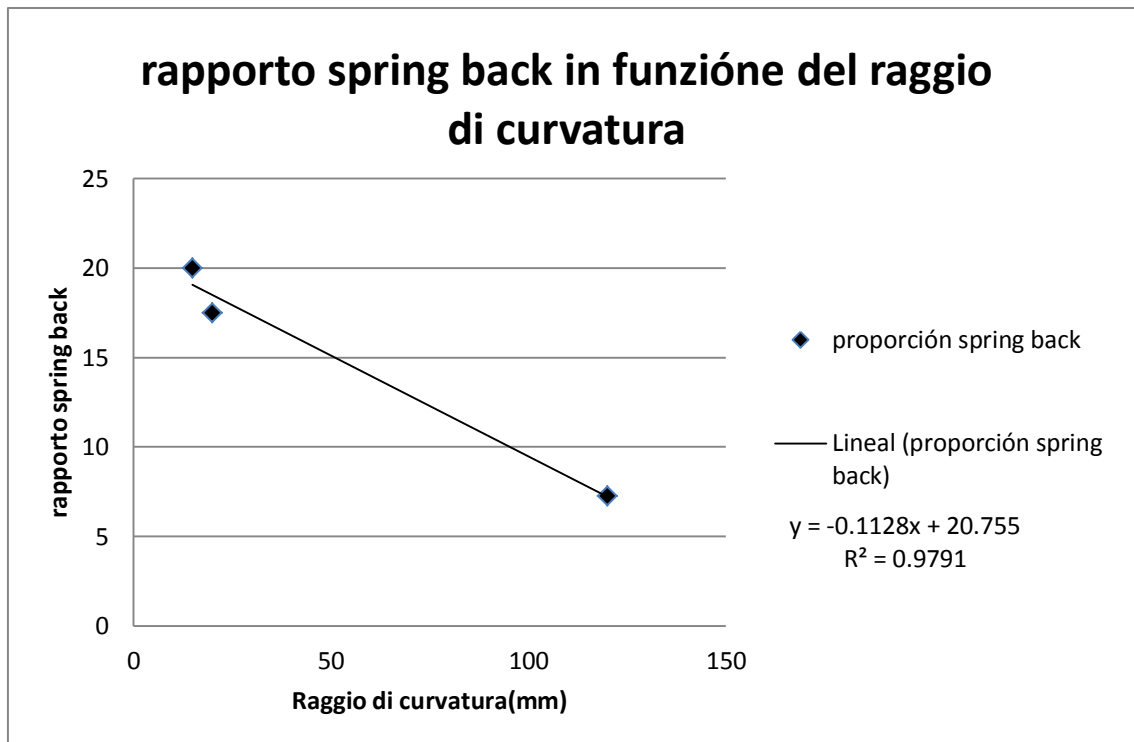


La percentuale dello spring back diminuisce in funzione del tempo di formatura tra gli stampi e il legno in tutti i differenti raggi di curvatura, però diminuisce più drasticamente nelle prove sottoposte a raggi di curvatura più piccoli. Cioè nelle prove più vicine alla plastificazione, dove si supera il limite elastico e non si produce la tendenza a recuperare la sua forma originale lo spring back è minore.



Il tempo di formatura della proba è stata di 12 hore. Alla fine delle 12 hore il livello di umidità del legno vaporizzato è più meno come il livello di umidità dell'ambiente, 12%. Il legno perde la umidità stando soggetto così da evitiamo deformazioni nella curva a causa del ritiro del legno. Così solo otteniamo la doformazione dovuto allo spring back.

La percentuale dello spring back del legno curvado a vapore a temperatura ambiente, si reduce in relazione alla diminuzione del raggio di curvatura. A causa del processo di curvado a vapore, al elevare il legno a 100°C e anche incrementare il livello di umidita del legno a 25%, questo diventa semiplastico, trattenendo più la sua forma dopo il curvado, specialmente se si asciuga mentre è soggetto.



Proporzione dello spring back è eguale a la rapporto tra la percentuale dello spring back in un processo curvado a freddo e la percentuale dello spring back in un processo curvado a vapore.

Con questo parametro analizziamo la variazione dello spring back tra un processo e il altro e, seconde le caratteristiche del progetto e le tolleranze costruttive adottate e determineremo si è redditizio o non fare il processo di curvado a vapore.

Paragoniamo i dati dello spring back nel legno curvado a freddo ad il legno curvado a vapore e, secondo i dati ottenuti nelle probe la rapporto tra la percentuale dello spring back in un porcesso curvado a freddo e la percentuale dello spring back in un processo curvado a vapore in funzione del raggio di curvatura e se determina per la seguito equazione lineale:

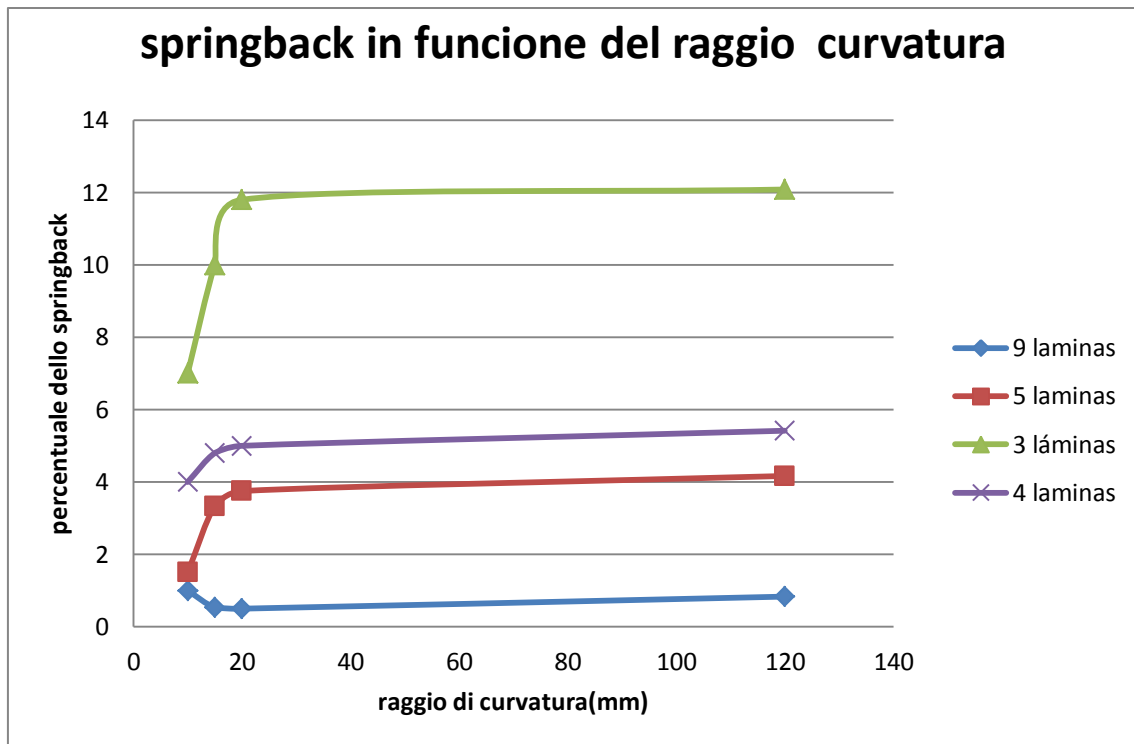
$$Y = -0.1128x + 20.755$$

Così se abbiamo la percentuale dello spring back in un processo di curvado a freddo rispetto a un raggio possiamo conoscere lo spring back rispetto al stesso raggio in un processo a vapore.

Esempio: processo a freddo, raggio di curvatura 60mm, percentuale dello spring back 150%

Se lo spring back di un processo a vapore = a

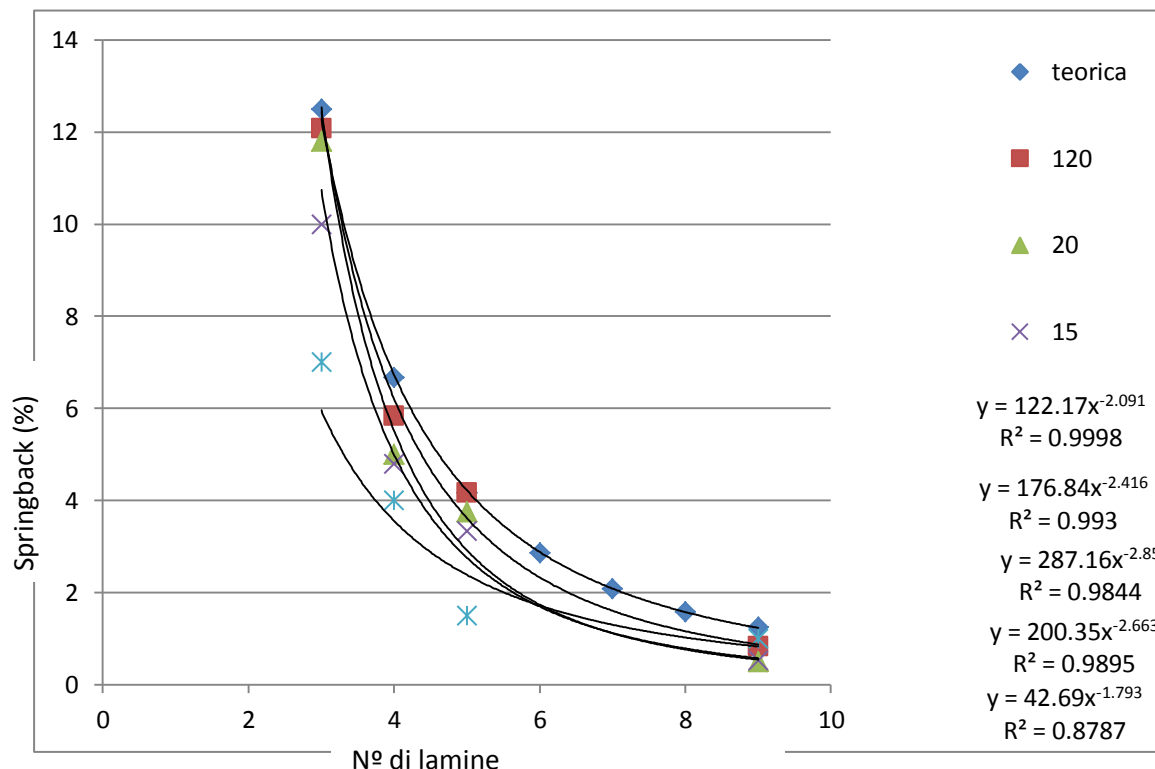
$$150/a = -0.1128 \cdot 60 + 20.755 \quad a = 5.44\%$$



Nel grafico si rappresenta la percentuale dello spring back del legno in funzione del raggio di curvatura rispetto ai campioni di legno laminato di 3,4,5 e 9 lamine rispettivamente.

Come si vede, la percentuale dello spring back diminuisce come si aumenta il numero di lamine che formano il legno laminato. Anche nei campioni di legno laminato di 3,4,5 lamine si osserva che lo spring back diminuisce secondo si diminuisce il raggio di curvatura. All'inizio la diminuzione dello spring back è più lenta e dopo quando i raggi di curvatura sono sufficientemente piccoli come per produrre la plastificazione nelle lamine di legno, lo spring back diminuisce drasticamente.

D'altronde il campione di legno di 9 lamine non segue quella tendenza. Secondo la formula dell'istituto forestale d'Inghilterra la percentuale dello spring back per legno laminato di 9 lamine è più o meno di 1.25%. Dunque quelle differenze tra i dati ottenuti e la teoria possono essere occultate o falsate dovute ai cambiamenti di umidità nel legno.



Nel seguente grafico si noterà la percentuale dello spring back in funzione del numero di lamine che ha il legno laminato. Nel grafico si noterà le funzioni rispetto ai diversi raggi di curvatura così come la funzione dell'istituto forestale d'Inghilterra.

La funzione sperimentale trovata dal istituto forestale d'Inghilterra a la seguente espressione:

$Y = 100 / [(X^2) - 1]$ essendo Y la percentuale dello spring back e X il numero di lamine

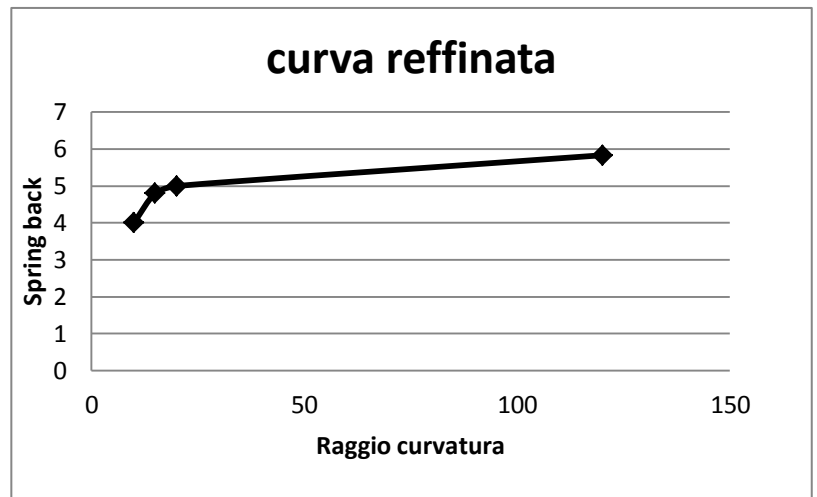
Le probe fatte per il istituto forestale d'Inghilterra hanno stato fatte con legno laminato nel che lo spessore della lamina è di 3.2mm, curvato nel senso della fibra. Secondo questa equazione si deduce che il raggio di curvatura non influenza nello spring back del legno y che solo dipende dei numeri di lamine.

Nostre probe si realizzano con lamine di 0.6mm y curvato con senso alternativo delle fibre, cioè, una lamina curvata nel senso longitudinale e l'altra nel senso trasversale delle fibre.

Con i dati ottenuti in nostre probe si determina che esiste relazione tra il raggio di curvatura e lo spring back e tra il numero di lamine e lo spring back. La relazione che esiste tra lo spring back e il numero di lamine è una relazione potenziale con un grande fattore di correlazione.

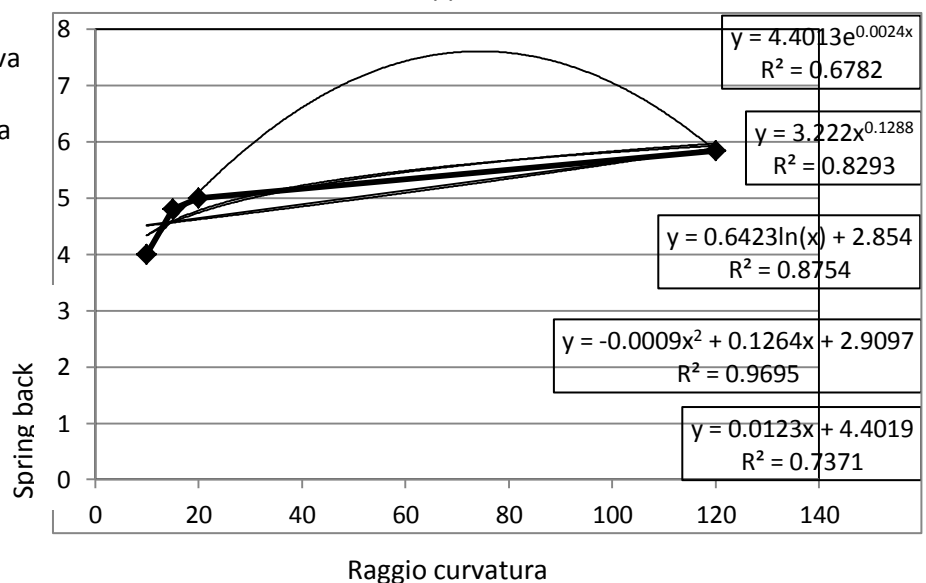
Si osserva che lo spring back, per lo stesso numero di lamine, diminuisce rispetto diminuisce il raggio di curvatura a differenza dei risultati delle equazione d'Inghilterra.

Dalle 4 punti esaminati è di fornire una serie continua di punti che si adattano al comportamento del legno. Curva di destra è una curva lisciata e ottimizzata che è eseguita per EXEL, che dovrebbe essere più adatta al comportamento di legno. Il calcolo di queste curve è molto complessa. Pertanto i metodi più semplici vengono utilizzati per ottenere i punti. 5 criteri utilizzati.

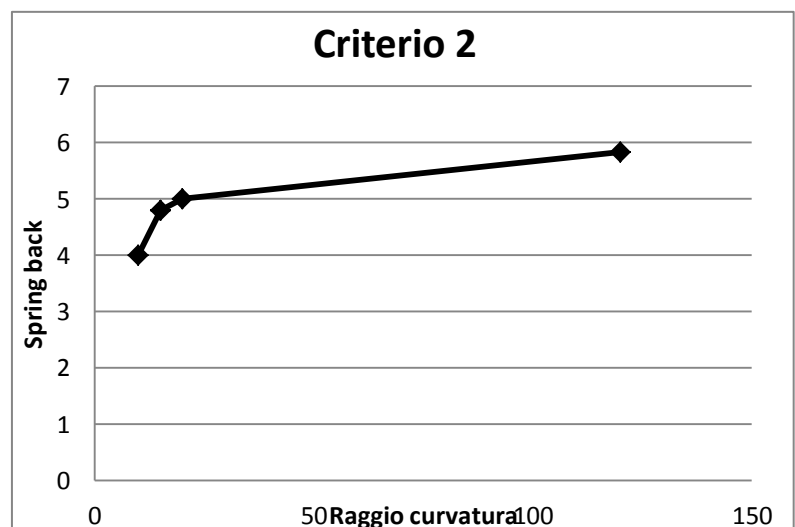


- Criterio 1: linee di regressione e curve. Nessuna delle linee di tendenza si approssima in un modo metodo

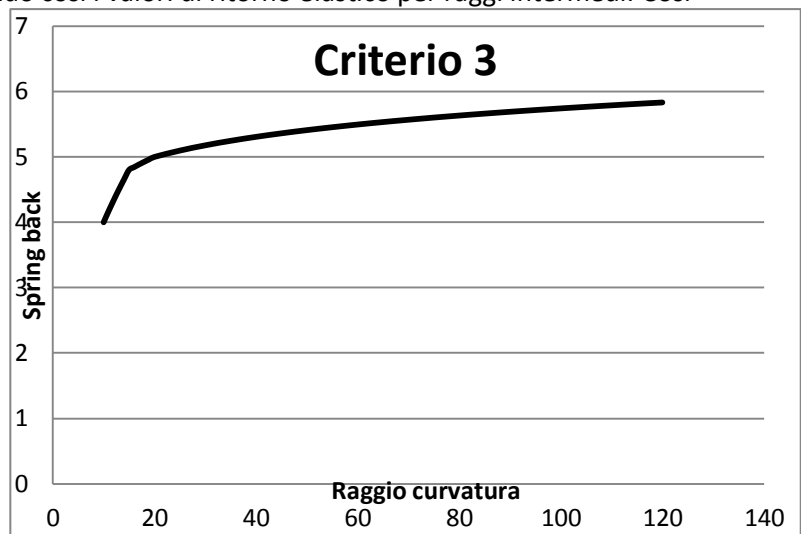
accettabile a i punti dei dati. L'unica curva chesi approssima i tre punti è una curva polinomiale di secondo grado, ma non si prevede di seguire il comportamento de legno, così anche è scartata



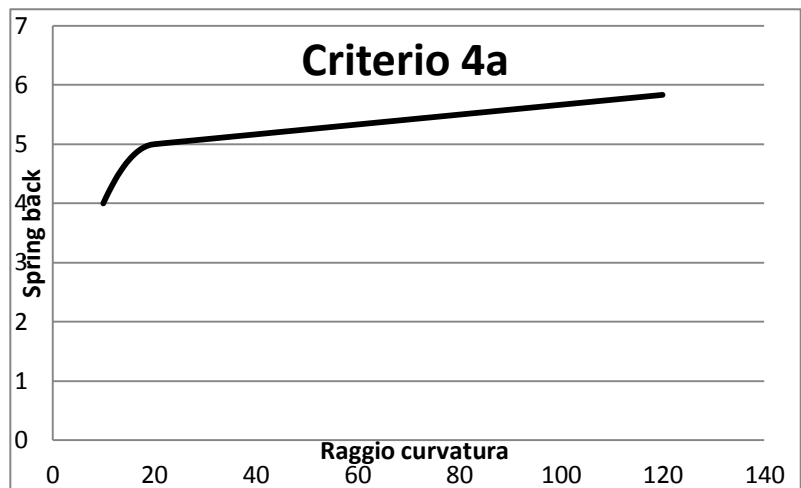
- Criterio 2: regressione lineare. La Interpolazione lineare viene eseguita tra coppie di punti noti. Ricevere lo springback per raggi intermedi. Il grafico non è liscio e c'è discontinuità tra i punti



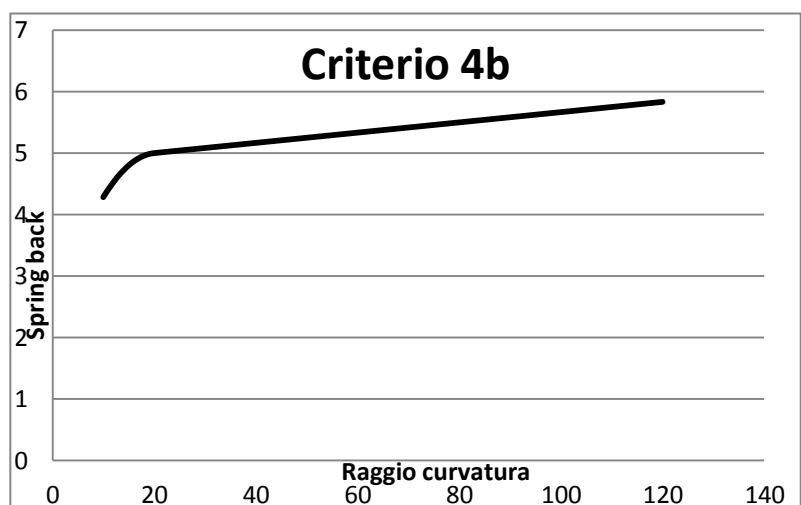
- **Criterio 3: regresión logarítmica.** La Interpolación logarítmica viene eseguita tra coppie di punti noti, ottenendo così i valori di ritorno elastico per raggi intermedi. Così el disegno ottenuto é piu curvato. Il grafico mostra discontinuità nei punti di collegamento tra interpolazione logarítmica 20-15 e 15-10



- **Criterio 4a: sezione 120-20 regressione lineare, sezione 20-10 polinomio di secondo grado.** Continuità tra la linea e il polinomio. Nessun dato sperimentale assicura che il raggio di curvatura corrispondente a 15mm appartiene alla polinomiale. Il grafico è continuato in tutti i punti. La curva è più vicino al presunto comportamento di legno che criteri 2 e 3.



- **Criterio 4b: sezione 120-20 regressione lineare, sezione 20-10 polinomio di secondo grado.** Continuità tra la linea e il polinomio. Nessun dato sperimentale assicura che il raggio di curvatura pari a 10 mm appartiene alla polinomiale. Il grafico è continuato in tutti i punti. La curva è più vicino al presunto comportamento di legno che criteri 2 e 3



Le seguenti tabelle si mostrano i dati ottenuti dello springback seguendo i criteri utilizzati e il numero di fogli..

Raggio di curvatura	3 lamine			
	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4a	Criterio 4b
120	12,0833333	12,0833333	12,0833333	12,0833333
115	12,0691667	12,0765251	12,0691667	12,0691667
110	12,055	12,0694182	12,055	12,055
105	12,0408333	12,0619852	12,0408333	12,0408333
100	12,0266667	12,0541944	12,0266667	12,0266667
95	12,0125	12,0460093	12,0125	12,0125
90	11,9983333	12,0373875	11,9983333	11,9983333
85	11,9841667	12,0282795	11,9841667	11,9841667
80	11,97	12,0186268	11,97	11,97
75	11,9558333	12,0083594	11,9558333	11,9558333
70	11,9416667	11,997393	11,9416667	11,9416667
65	11,9275	11,9856247	11,9275	11,9275
60	11,9133333	11,972927	11,9133333	11,9133333
55	11,8991667	11,9591391	11,8991667	11,8991667
50	11,885	11,9440543	11,885	11,885
45	11,8708333	11,927401	11,8708333	11,8708333
40	11,8566667	11,9088117	11,8566667	11,8566667
35	11,8425	11,8877719	11,8425	11,8425
30	11,8283333	11,8635295	11,8283333	11,8283333
25	11,8141667	11,8349206	11,8141667	11,8141667
20	11,8	11,8	11,8	11,8
19	11,44	11,4568585	11,74945	11,7030682
18	11,08	11,1059569	11,6034667	11,4916011
17	10,72	10,7466729	11,3620501	11,1372674
16	10,36	10,3782945	11,0252001	10,6400671
15	10	10	10,5929168	10
14	9,4	9,41114125	10,0652001	9,21706626
13	8,8	8,81719478	9,44205007	8,29126584
12,5	8,5	8,51817857	9,09468756	7,77479063
11	7,6	7,61219469	7,90945003	6,01106496
10	7	7	7	4,6566645

Raggio di curvatura	4 lamine			
	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4a	Criterio 4b
120	5,833333	5,833333	5,833333	5,833333
115	5,79166635	5,8120131	5,79166635	5,79166635
110	5,7499997	5,78982853	5,7499997	5,7499997
105	5,70833305	5,76670243	5,70833305	5,70833305
100	5,6666664	5,74254704	5,6666664	5,6666664
95	5,62499975	5,71726146	5,62499975	5,62499975
90	5,5833331	5,69072897	5,5833331	5,5833331
85	5,54166645	5,66281342	5,54166645	5,54166645
80	5,4999998	5,63335464	5,4999998	5,4999998
75	5,45833315	5,6021624	5,45833315	5,45833315
70	5,4166665	5,5690083	5,4166665	5,4166665
65	5,37499985	5,53361471	5,37499985	5,37499985
60	5,3333332	5,49563936	5,3333332	5,3333332
55	5,29166655	5,45465338	5,29166655	5,29166655
50	5,2499999	5,41010903	5,2499999	5,2499999
45	5,20833325	5,36129073	5,20833325	5,20833325
40	5,1666666	5,30723781	5,1666666	5,1666666
35	5,12499995	5,24661651	5,12499995	5,12499995
30	5,0833333	5,17749492	5,0833333	5,0833333
25	5,04166665	5,09691596	5,04166665	5,04166665
20	5	5	5	5
19	4,96	4,96373961	4,9825	4,98533117
18	4,92	4,92580291	4,94666667	4,95799806
17	4,88	4,88601248	4,89250001	4,91799827
16	4,84	4,84416028	4,82000001	4,8653318
15	4,8	4,8	4,72916668	4,8
14	4,64	4,65337407	4,62000001	4,72199882
13	4,48	4,50086298	4,49250001	4,63133231
12,5	4,4	4,42218162	4,42187501	4,58124905
11	4,16	4,17515534	4,1825	4,41199925
10	4	4	4	4,2833327

Raggio di curvatura	5 lamine			
	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4a	Criterio 4b
120	4.166666	4.166666	4.166666	4.166666
115	4.1458327	4.15625145	4.1458327	4.1458327
110	4.1249994	4.14540167	4.1249994	4.1249994
105	4.1041661	4.1340774	4.1041661	4.1041661
100	4.0833328	4.12223375	4.0833328	4.0833328
95	4.0624995	4.10981906	4.0624995	4.0624995
90	4.0416662	4.09677346	4.0416662	4.0416662
85	4.0208329	4.08302703	4.0208329	4.0208329
80	3.9999996	4.06849739	3.9999996	3.9999996
75	3.9791663	4.05308653	3.9791663	3.9791663
70	3.958333	4.03667659	3.958333	3.958333
65	3.9374997	4.01912403	3.9374997	3.9374997
60	3.9166664	4.00025155	3.9166664	3.9166664
55	3.8958331	3.97983651	3.8958331	3.8958331
50	3.8749998	3.9575939	3.8749998	3.8749998
45	3.8541665	3.93315048	3.8541665	3.8541665
40	3.8333332	3.90600374	3.8333332	3.8333332
35	3.8124999	3.87545385	3.8124999	3.8124999
30	3.7916666	3.8404836	3.7916666	3.7916666
25	3.7708333	3.79952968	3.7708333	3.7708333
20	3.75	3.75	3.75	3.75
19	3.66666666	3.67206911	3.72375001	3.73000084
18	3.58333332	3.59167636	3.65333334	3.67833418
17	3.49999998	3.50860035	3.53875001	3.59500084
16	3.41666664	3.42258534	3.38000002	3.48000082
15	3.3333333	3.33333333	3.17708335	3.33333414
14	2.96666664	2.90984797	2.93000002	3.15500078
13	2.59999998	2.51470473	2.63875001	2.94500076
12.5	2.41666665	2.32778134	2.47656251	2.82812574
11	1.86666666	1.80970777	1.92375001	2.43000068
10	1.5	1.5	1.5	2.12500064

Si è osservato che la differenza tra i tre modelli non è rappresentativa, pertanto si può scegliere qualsiasi modello per ottenere tutti i valori intermedi dei test.

Abbiamo scelto il metodo della regressione logaritmica, per la sua semplicità e la sua curvatura maggiore rispetto alla regressione lineare standard.

Per determinare la correlazione che esiste tra le equazioni ottenute sperimentalmente e la equazione dell'istituto forestale d'Inghilterra (di solito sarà denominata equazione teorica o funzione teorica) si fa uno studio di desviación tra le diverse funzioni.

Nello studio si determina la desviación tra ogni coppia di valori della equazione teorica e la equazione sperimentale per ogni categoria di legno (3,4,5 lamine) e per ogni raggio di curvatura. Anche si ottiene la desviación media per ogni categoria di legno laminato.

Lo studio se mostra nella seguente tabellina.

raggio curvatura	Desviación tra la función teorica e la experimental 3 lamine	Desviación tra la función teorica e la experimental 4 lamine	Desviación tra la función teorica e la experimental 5 lamine
120	0,41666667	1,666666333	6,66667E-07
115	0,423474919	1,645346433	0,010415218
110	0,430581759	1,623161865	0,021264996
105	0,438014788	1,600035768	0,032589263
100	0,445805626	1,575880369	0,044432913
95	0,453990739	1,550594794	0,056847605
90	0,462612484	1,524062305	0,069893205
85	0,471720451	1,49614675	0,083639638
80	0,481373213	1,466687969	0,098169281
75	0,491640641	1,435495731	0,113580136
70	0,502607012	1,402341633	0,129990075
65	0,514375268	1,366948042	0,147542635
60	0,527072986	1,328972693	0,166415118
55	0,540860932	1,287986713	0,186830161
50	0,555945697	1,243442358	0,209072764
45	0,57259899	1,19462406	0,233516186
40	0,591188301	1,140571144	0,260662929
35	0,612228085	1,079949839	0,291212817
30	0,636470512	1,010828252	0,326183064
25	0,665079411	0,930249298	0,367136986
20	0,7	0,833333333	0,416666667
19	1,043141478	4,166666667	4,166666667
18	1,39404313	4,166666667	4,166666667
17	1,753327091	4,166666667	4,166666667
16	2,121705489	4,166666667	4,166666667
15	2,5	0,633333333	0,833333337
14	3,088858749	0,486707406	1,256818695
13	3,682805221	0,334196312	1,65196194
12,5	3,981821428	0,255514957	1,838885327
11	4,887805307	0,00848867	2,356958895
10	5,5	0,166666667	2,666666667

	Teorica- sperimentale 3 lamine	Teorica- sperimentale 4 lamine	Teorica- sperimentale 4 lamine
Desviación media	1.318961819	1,072299408	0,527174925
Errore medio	10.551%	16.0844%	12.6522%
Desviación media valutata da 120mm fino a 20mm	0,511715424	1,378499617	0,142469783
Errore 120-20mm	4.094%	20.6667%	3.41925%
Desviación media raggio minore 20mm	2,786682536	0,515571754	1,226638821
Errore <20mm	22.29%	7.733576%	29.4393%

Analizando le tabelline anteriori si determina che la funzione teorica ottenuta dall'istituto forestale d'Inghilterra è più vicina a la funzione sperimentale quanto maggiori siano i raggi di curvatura. Questo è dovuto a che le prove fatte dall'istituto forestale d'Inghilterra si fanno con curve tra 150 e 200 volte lo spessore che concorda con i raggi di curvatura più grandi in nostre prove.

A.9 APPLICAZIONE DELLO SPRINGBACK OTTENUTO NELLE PROVE DEL BLOCCO A NELLA COSTRUZIONE E MODELLAZIONE DELLO SCAFO DI UNA BARCA DI CLASSE IOM (PROGETTO VELANTE)

Si hanno utilizzati i dati ottenuti delle prove e delle interpolazioni per ottenere lo springback dello scafo de una barca della classe IOM per il Progetto Velante del Politecnico di bari.

Lo scafo è di legno laminato di 3 lamine.

Il piano è nel ANEXO

A.10 CONCLUSIONI BLOCCO A

si determina che per calcolare lo spring back si utilizza:

- Legno laminato di 3 lamine
 - Per raggi maggiori a 120mm: Equazione teorica
 - Per raggi tra 120mm e 20mm: Le due equazione intercambiabile
 - Per raggi minori di 20mm: Equazione sperimentale
- Legno laminato di 4 lamine
 - Equazione sperimentale in ogni situazione
- Legno laminato di 5 lamine
 - Per raggi maggiori a 120mm: Equazione teorica
 - Per raggi tra 120mm e 20mm: Le due equazione intercambiabile
 - Per raggi minori di 20mm: Equazione sperimentale

BLOCCO B

Comportamento del legno laminato

Creazione di un modello virtuale di comportamento del legno laminato sul ANSYS

B.1 AMBITO BLOCCO B

Si vuole fare un modello virtuale che attenga le caratteristiche di comportamento e di deformazione del legno laminato.

L'applicazione di questo blocco è quello di creare un modello che può essere utilizzato per l'analisi strutturale della barca di classe IOM per il progetto velante del Politecnico di Bari.

Per fare questo materiale si terrà en conto le proprietà ortotropiche del legno, se studiaeranno e spiegheranno tutti i parametri che influenzano la proprietà ortotropica del legno.

Non si vuole creare una serie di strati con diverse proprietà, cioè, uno strato formato di legno e l'altro di colla. Quello si farà nel BLOCCO C per validare lo springback sul ANSYS calcolato nel BLOCCO A

B.2 OBIETTIVI

- Definire correttamente le proprietà del legno
- Creazione di un solo materiale che suo comportamento e deformazione sia quello del legno laminato.
- Utilizzare questo materiale nella creazione di una barca della classe IOM del progetto Velante del Politecnico di Bari

B.3 INTRODUZIONE A ANSYS

B.3.1 ANSYS Workbench

ANSYS Workbench è un ambiente di lavoro rivoluzionario che consente di integrare in un unico strumento dal preliminare analizza più semplice al dettaglio più complesso e studi di convalida. L'efficacia dell'ambiente si basa su tre pilastri: semplicità di utilizzo, l'automazione del processo di simulazione e di trasferimento di informazioni.

Una analisi dei sistemi di ANSYS Workbench è una struttura statica.

B.3.2 Static Structural

Lo strumento static structural ci permette di risolvere un problema di analisi strutturale lineare di meccanica statica dal calcolatore d'elementi finiti. Dopo aver inserito le condizioni al contorno e le sollecitazioni, questo strumento ci permette di capire il comportamento dell'oggetto, cioè, la sua tensione, il fattore di movimento o di sicurezza e molti altri parametri.

Lo strumento static structural è suddiviso in sei moduli ANSYS estensione, che sono: dati tecnici, geometria, modello, configurazione, soluzione, risultati.

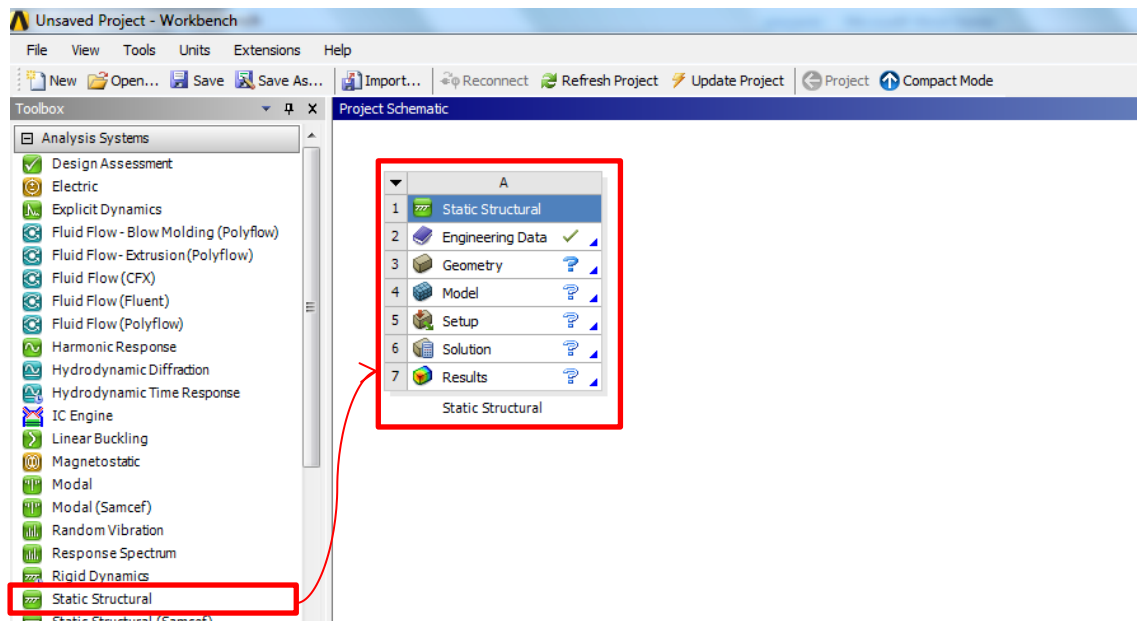


Figura 19. Static structural

B.3.3 Engineering data

In questo programma è selezionato il materiale (e le loro proprietà), che avrà il modello che sarà oggetto di una analisi strutturale.

Cuando si carica il programma si accede alla libreria di materiali predefiniti da ANSYS. Nessun materiale si adatta alle nostre condizioni, per questo si modificherà un materiale esistente, come materiale di legno.

Prima si definisce le proprietà del legno come materiale e le sue più importanti parametri meccanici. Questi parametri saranno utilizzati dal programma per regolare la risposta del materiale al set sollecitazioni.

B.4 LEGNO MATERIALE REALE

Il legno ha una struttura molto eterogenea e caratterizzata da anisotropia, in modo che tutte le sue proprietà devono essere nella direzioni considerata in base alla disposizione delle fibre primari della composizione.

Il legno è un materiale anisotropo tale che le loro proprietà variano a secondo della direzione considerata, è per questo che le proprietà meccaniche devono essere definite in relazione al orientamento delle fibre.

Il legno è considerato materiale ortotropo definito da tre direzioni principali:

- Assiale: lungo l'asse dell'albero
- Radiale: perpendicolari alla direzione assiale e taglio all'asse dell'albero.
- Tangente: normale alle due precedenti.

La direzione principale delle fibre, le differenze del legno in anelli di crescita e raggi legnose spiegano le differenze tra le proprietà a ciascuna delle direzioni indicati.

Nel calcolo di strutture in legno, è stata semplificata in due indirizzi, le proprietà del legno vengono definiti tra queste due direzioni, qui sono:

- Parallelamente alla fibra
- Perpendicolare alla fibra comprende la radiale e tangenziale

B.4.1 Modulo di Young

Modulo di Young o modulo di elasticità è un parametro che caratterizza il comportamento di un materiale elastico, a seconda della direzione in cui è applicata la forza

- Per un materiale elastico lineare isotropo, il modulo di Young ha lo stesso valore per la trazione come per la compressione, essendo una costante indipendentemente dello sforzo sempre che non superi un valore massimo detto limite elastico o tensione di snervamento ed è sempre maggiore di zero: se un'asta è tirato, aumenta di lunghezza.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/S}{\Delta L/L}$$

Dove:

E è il modulo di elasticità longitudinale

σ è la pressione su il settore della sezione trasversale dell'oggetto.

ϵ è la deformazione unitaria in qualsiasi punto dell'oggetto.

- Materiale anisotropo: ci sono tre costanti elastiche E_x , E_y e E_z tale che il modulo di Young in qualsiasi direzione viene determinato per:

$$E = l_x E_x + l_y E_y + l_z E_z$$

dove (l_x, l_y, l_z) sono i coseni direttori della direzione in cui si misura il modulo di Young per tre direzioni ortogonali indicate.

Immagini del modulo di elasticità di acciaio (isotropo) e il legname nella direzione longitudinale delle fibre (materiale anisotropo)

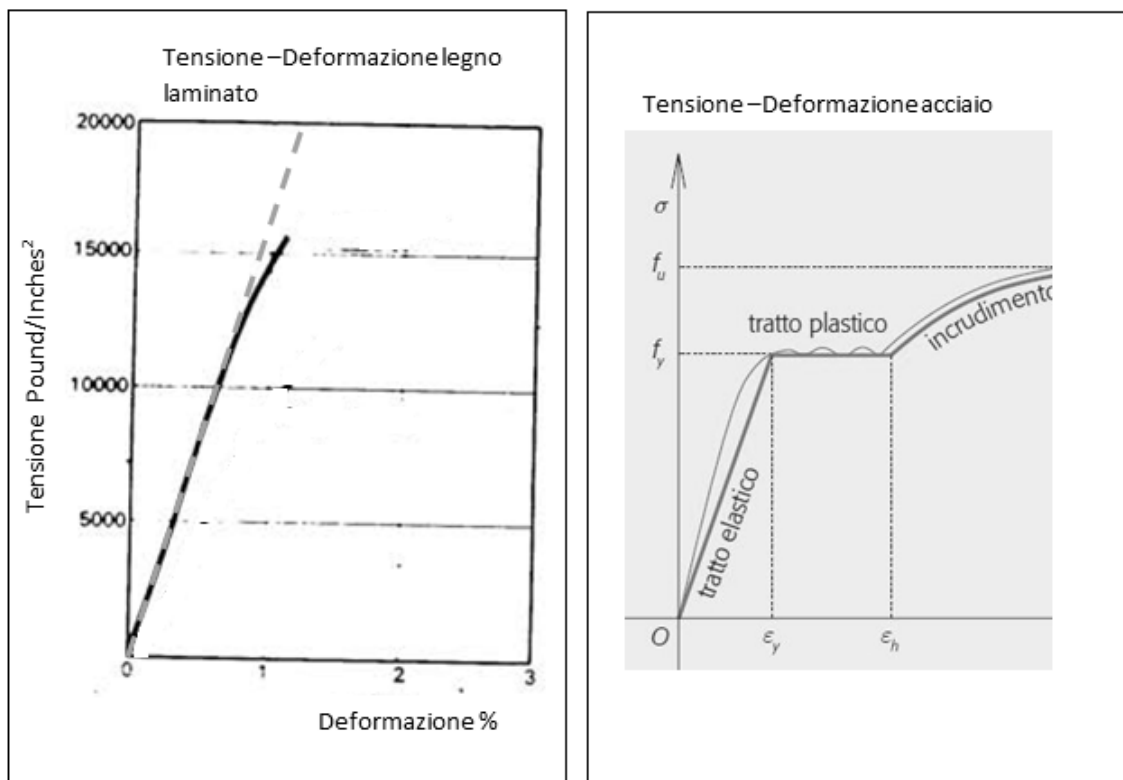


Figura20. Diagramma sforzo-deformazione. Il modulo di Young è rappresentato dalla tangente alla curva in ogni punto.

Nel nostro progetto è considerato:

E_x : Modulo di elasticità longitudinale nella direzione delle fibre del legno.

E_y : Modulo di elasticità longitudinale nella direzione radiale.

E_z : modulo di elasticità longitudinale nella direzione tangenziale..

Il legno è considerato un materiale che presenta un comportamento nella direzione longitudinale delle fibre e un altro nella direzione radiale e tangenziale.

Costanti del modulo di elasticità longitudinale del legno laminato, ottenuti da il libro *Estructuras* de Francisco Arriaga y Joan Ramón Blasco sono;

Modulo di elasticità longitudinale	Rapporto tra moduli	Valore (MPa)
E_x	E_x	12600
E_y	$E_x/30$	420
E_z	$E_x/30$	420

B.4.2 Coefficiente Poisson (ν)

è una costante elastica che fornisce una misura del restringimento della sezione di un prisma di materiale quando è allungato longitudinalmente e si assottiglia nelle direzioni perpendicolari allo stiramento.

- Materiale isotropo: il coefficiente di Poisson può essere misurato come rapporto tra l'allungamento longitudinale prodotto e l'accorciamento di una lunghezza che giace in un piano perpendicolare alla direzione del carico applicato.

$$\nu = - \frac{\varepsilon_{trans}}{\varepsilon_{long}}$$

Dove ε è la deformazione.

Para un material isotrópico elástico perfectamente incompresible, este es igual a 0,5. La mayor parte de los materiales prácticos en la ingeniería rondan entre 0,0 y 0,5. Al deformarse un material en una dirección producirá deformaciones sobre los demás ejes, lo que a su vez producirá esfuerzos en todos los ejes. Por lo que es posible generalizar la ley de Hooke como:

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu (\sigma_y + \sigma_z)] \\ \varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu (\sigma_x + \sigma_z)] \\ \varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu (\sigma_x + \sigma_y)] \end{cases}$$

- Materiale ortotropo: Per materiali ortotropi (come il legno), il rapporto tra la deformazione unitaria longitudinale e la deformazione unitaria trasversale dipende dalla direzione dello stiramento, può essere visto che per un materiale ortotropo il coefficiente di Poisson apparente può essere espresso in termini di coefficienti Poisson associata a tre direzioni mutuamente perpendicolari. Infatti tra i 12 usuali costanti elastiche che definiscono il comportamento di un materiale elastico ortotropo, solo 9 di loro sono indipendenti in quanto le restrizioni devono essere soddisfatti da un rapporto del maggiore Poisson e di Young moduli principali

$$\frac{\nu_{yx}}{E_y} = \frac{\nu_{xy}}{E_x} \quad \frac{\nu_{zx}}{E_z} = \frac{\nu_{xz}}{E_x} \quad \frac{\nu_{yz}}{E_y} = \frac{\nu_{zy}}{E_z}$$

Si considera:

Direzione X: direzione parallela alle fibre.

Direzione Y: direzione radiale.

Direzione Z: direzione tangenziale.

I coefficienti di modulo di Poisson per legno laminato utilizzati nel progetto sono:

Coeficiente de Poisson	Valor
ν_{zy}	0.31
ν_{yx}	0.03
ν_{zx}	0.02

Dati di coefficienti di Poisson ottenuti del libro: *Estructuras de madera: diseño y cálculo*; Ramón Arguelles

B.4.3 Modulo di taglio

Il modulo di elasticità trasversale, modulo di taglio anche chiamato, è una costante che caratterizza il cambiamento della forma che sperimenta un materiale elastico quando soffre sforzi di taglio.

Il modulo elastico sperimentalmente trasversali può essere misurato in diversi modi, concettualmente il modo più semplice è considerato come un cubo (immagine destra) e sottoporlo ad uno sforzo di taglio, per piccole deformazioni si può calcolare il rapporto tra la tensione e la distorsione angolare.

$$G := \frac{\tau_m}{\Theta} \approx \frac{F/A}{\Delta x/l} = \frac{Fl}{\Delta x A}$$

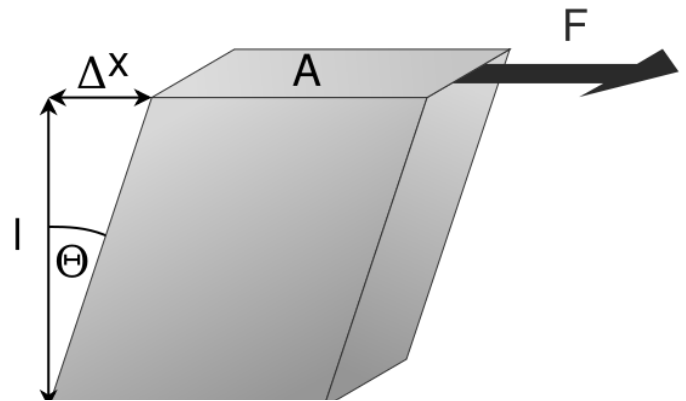


Figura 21. Calcolo del modulo di

- materiale isotropo lineare: il modulo di taglio ha lo stesso valore per tutte le direzioni dello spazio. Esso è legato al modulo di Young e al coefficiente di Poisson dalla relazione:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{\tau_{ij}}{2\varepsilon_{ij}}$$

E è il modulo di elasticità longitudinale o modulo di Young.

ν è il coefficiente di Poisson.

$\tau_{ij}, \varepsilon_{ij}$ sono rispettivamente la tensione tangenziale e la deformazione tangenziale sopra il piano formato dagli assi X_i e X_j .

- materiale ortotropo: per il materiale ortotropo in generale si può definire tre moduli di elasticità trasversali, definiti come:

$$G_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{2\varepsilon_{xy}} \quad G_{xz} = \frac{\sigma_{xz}}{2\varepsilon_{xz}} \quad G_{yz} = \frac{\sigma_{yz}}{2\varepsilon_{yz}}$$

I moduli elastici trasversali nelle tre direzioni sopra definiti sono differenti per legno e potrebbero presentare notevoli differenze di valore fra loro.

I moduli di elasticità incrociata utilizzati nel progetto sono:

Modulo elasticità trasversale	Rapporto tra le moduli	Valore (MPa)
G_{xy}	$E_x/G_{xy}=14.9$	845.6
G_{xz}	$E_x/G_{xz}=17.25$	730.4
G_{yz}	$E_x/G_{yz}=153.47$	82.1

Dati di moduli de lesticità trasversale ottenuti nel *Estructuras de madera: diseño y cálculo*; Ramón Arguelles

B.4.4 Tensione di snervamento a trazione nella direzione della fibra

Lo snervamento, anche denominato limite di elasticità è la massima sollecitazione che un materiale elastoplastico può sopportare senza deformazioni permanenti. L'applicazione di tensioni superiori a questo limite, il materiale subisce comportamento plastico di deformazione permanente e non si riprende la sua forma originale spontaneamente durante la rimozione dei carichi. In generale, un materiale sottoposto a sollecitazioni di sotto del suo limite di snervamento è temporaneamente deformato secondo la legge di Hooke.

I materiali sottoposti a sforzi superiori alla tensione di snervamento hanno un comportamento plastico. Se le sollecitazioni continuano ad aumentare il materiale raggiunge il suo punto di rottura. Il limite elastico segna quindi il passaggio alla zona di scorrimento elastico. Più formalmente, questo implica che in uno stato di tensione uniassiale, il limite elastico è la sollecitazione ammissibile dalla quale entra il flusso della superficie del materiale.

La tensione di snervamento per il legno laminato in questo progetto è:

Limite elastico a trazione	Valore (MPa)
$\sigma_{t,e}$	19.5

B.4.5 Tensione di rottura a trazione

Massima sollecitazione a trazione che un materiale può sopportare prima di cominciare la strizione, questo è quando la sezione trasversale del provino comincia a diminuire notevolmente.

Il legno non è un materiale particolarmente duttile come l'acciaio, quindi dopo aver superato il limite di frattura elastica si verifica rapidamente. Se si vuole aumentare la zona elasto-plastico o zona plastica devono essere sottoposti a processi che trasformano legno in un materiale semi-plastica, come processo di cottura a vapore a pressione atmosferica.

La tensione di rottura a trazione per questo progetto è:

Tensione di rottura a trazione	Valore
$\sigma_{t,r}$	20.5

Sotto è riportato un grafico di sollecitazione-deformazione di legno laminato sotto trazione, che indica la tensione di snervamento alla trazione, la deformazione dovuta al limite di sollecitazione elastica, la tensione di rottura alla trazione e la deformazione dovuta alla tensione di rottura alla trazione. si mostra la piccola area plastica del laminato plastico sottoposta a trazione, in modo che in questo caso può essere considerato come un materiale fragile.

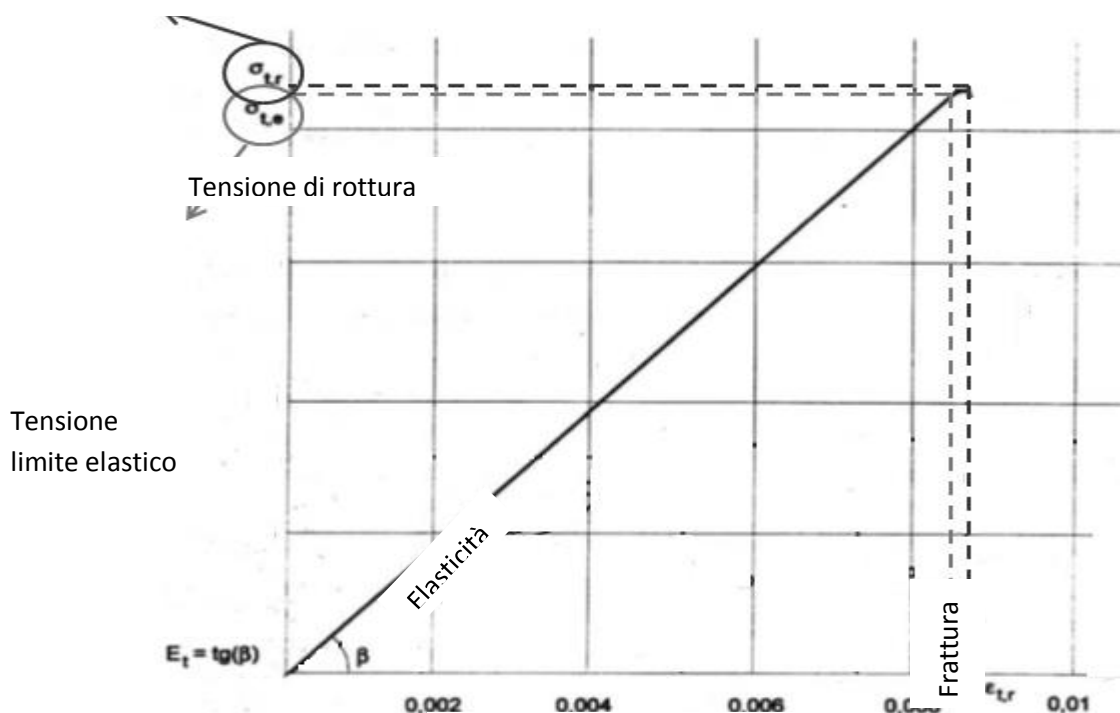


Figura22. Tensione-deformazione

B.4.6 Trazione perpendicolare alla direzione delle fibre

Tensione che supporta il materiale quando è stato sottoposto a trazione in una direzione perpendicolare alle fibre. Secondo la disposizione del pezzo trazione perpendicolare alle fibre possono essere:

- Trazione perpendicolare radiale
- Trazione perpendicolare tangenziale

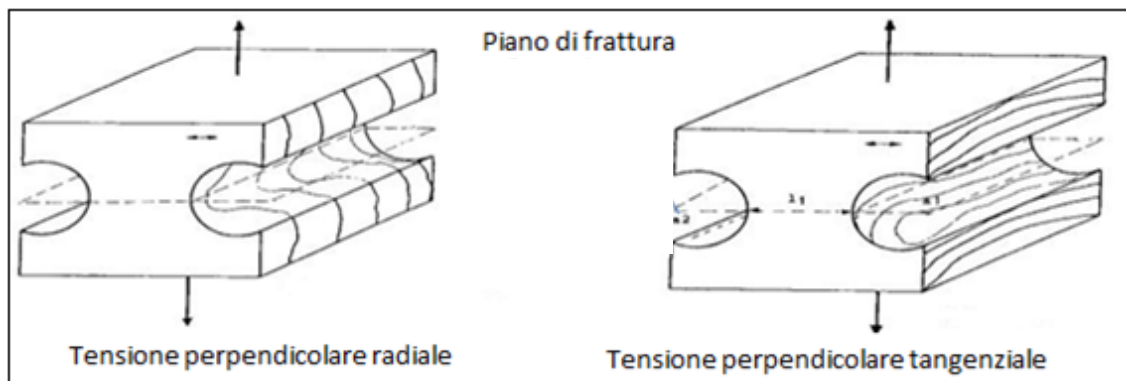


Figura23. Tensione perpendicolare radiale e tangenziale

I valori di trazione perpendicolare alla fibra sono i seguenti:

Tensione perpendicolare alla fibre	Relazione con la tensione parallela alla fibra	Valore (MPa)
Radiale, direzione Y	$\sigma_Y = \sigma_X / 30$	0.6
Tangenziale, direzione Z	$\sigma_Z = \sigma_X / 30$	0.6

B.4.7 Tensione di snervamento a compressione

Stesso concetto della tensione di snervamento alla trazione, ma a causa di una forza di compressione.

Per questo progetto la resistenza alla compressione è resa:

Tensione di snervamento a compressione	Valore (MPa)
$\sigma_{c,e}$	26.5

B.4.8 Tensione di rottura a compressione

Massima sollecitazione a compressione che un materiale può sopportare prima di cominciare lo strizione, questo è quando la sezione trasversale del provino comincia a diminuire notevolmente.

La tensione di rottura a compressione per questo progetto è:

Tensione di rottura a compressione	Valore
$\sigma_{c,r}$	27.5

Sotto è riportato un grafico di sollecitazione-deformazione in compressione del legno laminato, nel qui è indicato il limite elastico a compressione, la deformazione dovuta al limite di sollecitazione elastica. A differenza del grafico di trazione è una maggiore zona di plastificazione. Un legno di compressione può essere deformata più significativo. Il legno laminato può essere deformato più significativamente a compression che a trazione

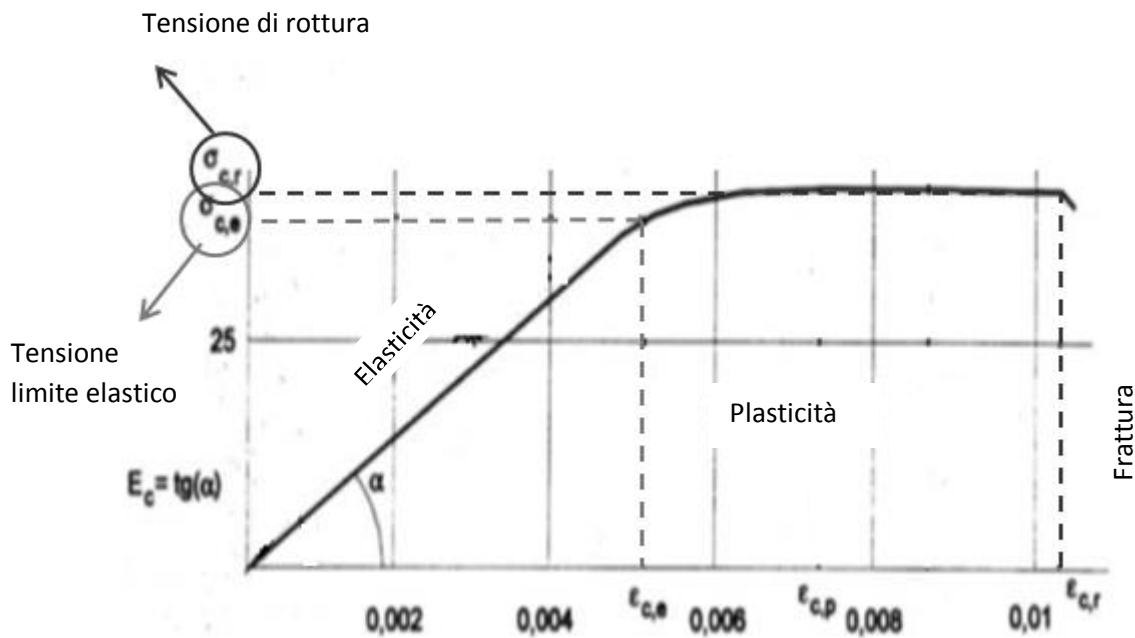


Figura24. plasticità

B.4.9 Compressione perpendicolare alla fibra

Tensione che supporta il materiale quando sottoposto a compresión in direzione perpendicolare alle fibre. Secondo la disposizione del pezzo la compressione perpendicolare alle fibre possono essere:

- Compressione perpendicolare radiale
- Compressione perpendicolare tangenziale

Valori di compressione perpendicolare alla fibra sono

Tensione perpendicolare alla fibra	Relazione con la tensione parallela alla fibra	Valore (MPa)
Radiale, direzione Y	$\sigma_Y = \sigma_X / 8.8$	3
Tangenziale, direzione Z	$\sigma_Z = \sigma_X / 8.8$	3

B.4.10 Taglio

Lo sforzo di taglio provoca tensioni tangenziali sulle fibre del legno. Secondo dell'orientamento fibra rispetto alla sforzo può essere diversi tipi di sollecitazioni di taglio:

- Tensioni tangenziali di taglio: Tensiones tangenciales de cortadura: il fallimento viene eseguito per appiattimento
- Tensioni tangenziali di glide: il fallimento viene eseguito per il glide de une fibre su altre fibre nella direzione logitudinale.
- Tensioni tangenziali di rotolamento: il fallimento viene eseguito per il rotolamento di une fibre su altre.

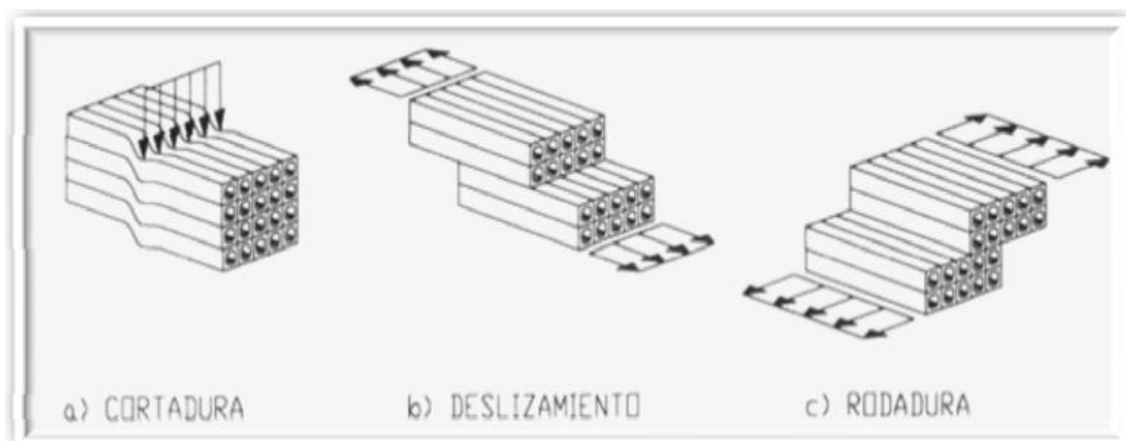


Figura25. Fallimento dovuto a tensioni di taglio (Argüelles,2003)

Genéricamente è considerata la tensione tangenziale di glide perché è minore resistenza alle tensioni di taglio

I valori di tensione di taglio utilizzati nel progetto sono:

Tensioni di taglio	Valore (MPa)
Talio; shear XY	3.2
Glide; shear YZ	3.2
Rotolamento; shear XZ	3.2

B.5 LEGNO MATERIALE ANSYS

Una volta entrati nel software Data Engineering si visualizza una finestra con i materiali inclusi nella libreria di ANSYS. I materiali sono ordinati in categorie. Si seleziona la categoria *fluid materials* e poi si seleziona il materiale *Wood*

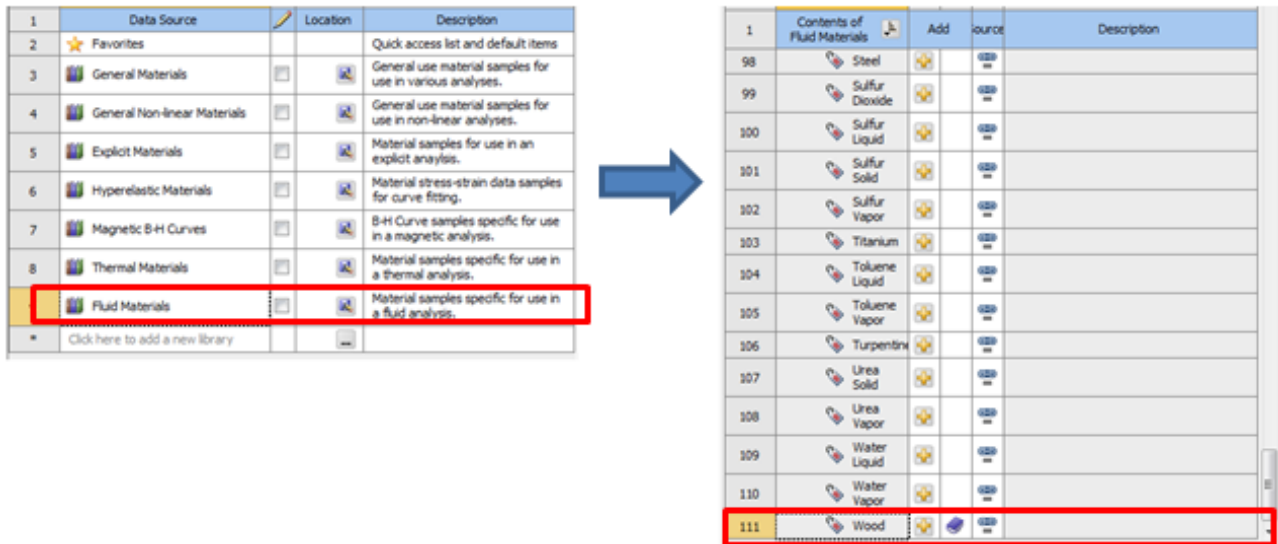


Figura26. Processo di selezione del materiale *Wood*.

Como si vede nell'immagine sotto il materiale *Wood* non ha tutte le caratteristiche reale del legno como materiale aniotropo o ortotropo como doveva.

Di conseguenza sono stati aggiunti i parametri specificati nella sezione precedente B.4 LEGNO MATERIALE REALE

Figura27. Proprietà materiale *Wood* senza cambiare

Properties of Outline Row 111: Wood			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	700	kg m ⁻³
3	Specific Heat	2310	J kg ⁻¹ K ⁻¹
4	Burn Hreact	3,2789E+07	
5	Burn Stoichiometry	2,67	
6	Scattering Factor	0,9	
7	Burn Hreact Fraction	0,3	
8	Absorption Coefficient	0	m ⁻¹
9	Devolatilization Model	20	
10	Thermal Conductivity	0,173	W m ⁻¹ K ⁻¹
11	Emissivity	0,9	
12	Boiling Point	400	K
13	Vaporization Temperature	400	K
14	Latent Heat	0	J kg ⁻¹
15	Binary Diffusivity	4E-05	
16	Swelling Coefficient	1	
17	Combustible Fraction	0,2	
18	Volatile Fraction	0,8	

Con lo scopo di ottenere il materiale nel ANSYS con il comportamento più simile a quello dil legno laminato si fanno tre tipi di materiali in legno.

Successivamente si faranno test e si determineranno le proprietà materiali che si comporta in maniera più simile a quella reale.

B.5.1 Considerazione del legno come materiale ortotropo. (Wood1)

Si introducono dei dati necessari per la ortotropia elastica; modulo di Young in tre direzioni, modulo di taglio nelle tre direzioni e tre coefficienti di Poisson. vengono introdotti valori di carico di snervamento e di compressione, nonché ultime valori di sollecitazione a trazione e compressione.

Infine, si introducono i valori massimi delle tensioni elastiche ortotrope.

I valori immessi sono dettagliate nella sezione B.4 LEGNO MATERIALE REALE.

Di seguito una tabella in cui sono inserite le proprietà ortotropiche e dei valori iscritti nel materiale Wood.

Properties of Outline Row 4: Wood					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	700	kg m ⁻³		
3	Orthotropic Elasticity				
4	Young's Modulus X direction	12600	MPa		
5	Young's Modulus Y direction	420	MPa		
6	Young's Modulus Z direction	420	MPa		
7	Poisson's Ratio XY	0,03			
8	Poisson's Ratio YZ	0,31			
9	Poisson's Ratio XZ	0,02			
10	Shear Modulus XY	845,6	MPa		
11	Shear Modulus YZ	82,1	MPa		
12	Shear Modulus XZ	730,4	MPa		
13	Tensile Yield Strength	19,5	MPa		
14	Compressive Yield Strength	26,5	MPa		
15	Tensile Ultimate Strength	20,5	MPa		
16	Compressive Ultimate Strength	27,5	MPa		
17	Orthotropic Stress Limits				
18	Tensile X direction	19,5	MPa		
19	Tensile Y direction	0,6	MPa		
20	Tensile Z direction	0,6	MPa		
21	Compressive X direction	-26,5	MPa		
22	Compressive Y direction	-3	MPa		
23	Compressive Z direction	-3	MPa		
24	Shear XY	3,2	MPa		
25	Shear YZ	3,2	MPa		
26	Shear XZ	3,2	MPa		
27	Specific Heat	2310	J kg ⁻¹ K ⁻¹		
28	Devolatilization Model	20			
29	Boiling Point	400	K		
30	Absorption Coefficient	0	m ⁻¹		
31	Burn Stoichiometry	2,67			
32	Latent Heat	0	J kg ⁻¹		
33	Vaporization Temperature	400	K		

Figura28. Valori proprietà ortotropica

B.5.2 Considerazione del legno come materiale anisotropo. (Wood2)

In questa variante si usa il modello anisotropo del programma ANSYS.

Per fare questo introduciamo la seguente matrice di rigidità per il legno laminato ortotropo. Questa matrice è stata utilizzata per ANSYS nel calcolo matriciale per avere la risposta del materiale alle sollecitazioni cui tale soggetto.

$$[D]^{-1} = \begin{bmatrix} 1/E_x & -\nu_{xy}/E_x & -\nu_{xz}/E_x & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{yx}/E_y & 1/E_y & -\nu_{yz}/E_y & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{zx}/E_z & -\nu_{zy}/E_z & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{xz} \end{bmatrix}$$

Figura29. Matrice di rigidità , dove X è la direzione longitudinale (L),
Y è la direzione radiale (R) y Z è la direzione tangenziale (T)

Si accede alla finestra *ToolBox* en ella sezione *Linear Elastic* si seleziona *Anisotropic Elasticity*.

The sequence involves selecting 'Anisotropic Elasticity' in the 'Linear Elastic' section of the 'Toolbox'. This leads to the 'Properties of Outline Row 4: Woodanisotropo' table, where the 'Anisotropic Elasticity' property is highlighted, and the 'Tabular' button is used to define the material's properties.

Table of Properties Row 3: Anisotropic Elasticity

	A	B	C	D	E	F
1	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
2	7,9365E-05					
3	-7,1429E-05	0,002381				
4	-4,7619E-05	-2,381E-06	0,002381			
5	0	0	0	0,0011826		
6	0	0	0	0	0,01218	
7	0	0	0	0	0	0,0013691

Figura30. Secuencia per introdurre la matrice di rigidità del legno

Una volta che la matrice di rigidezza è introdotta si procede per immettere i valori della tensione di snervamento in trazione e compressione, così come lo stress rottura ultima a tensione e compressione.

Di seguito una tabella che mostra tutte delle proprietà di questo materiale, inscatolato in rosso le proprietà che ho introdotto.

Properties of Outline Row 4: Woodanisotropo					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	700	kg m ⁻³	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Anisotropic Elasticity	Tabular		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Tensile Yield Strength	19,5	MPa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Compressive Yield Strength	26,5	MPa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Specific Heat	2310	J kg ⁻¹ ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Thermal Conductivity	0,173	W m ⁻¹ ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Burn Hreact Fraction	0,3		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Burn Hreact	3,2789E+07		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	Devolatilization Model	20		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	Emissivity	0,9		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	Latent Heat	0	J kg ⁻¹	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	Absorption Coefficient	0	m ⁻¹	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	Volatile Fraction	0,8		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	Combustible Fraction	0,2		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	Boiling Point	400	K	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	Binary Diffusivity	4E-05		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	Scattering Factor	0,9		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	Burn Stoichiometry	2,67		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	Swelling Coefficient	1		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	Vaporization Temperature	400	K	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

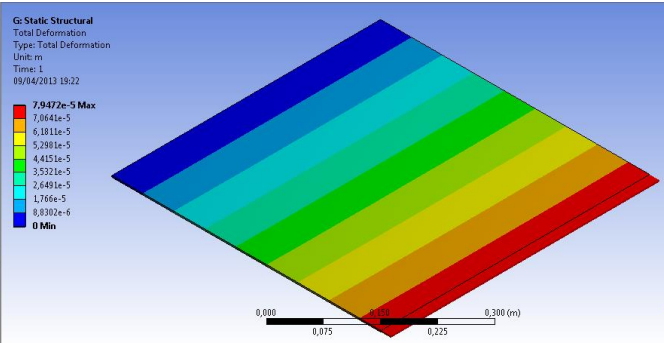
Figura31. Materiale isotropico

B.5.3 Considerazioni del legno come materiale isotropico: questo materiale ha lo stesso comportamento in tutte le direzioni. È stato creato questo materiale per vedere la differenza che c'è tra un materiale isotropo e uno ortotropo.

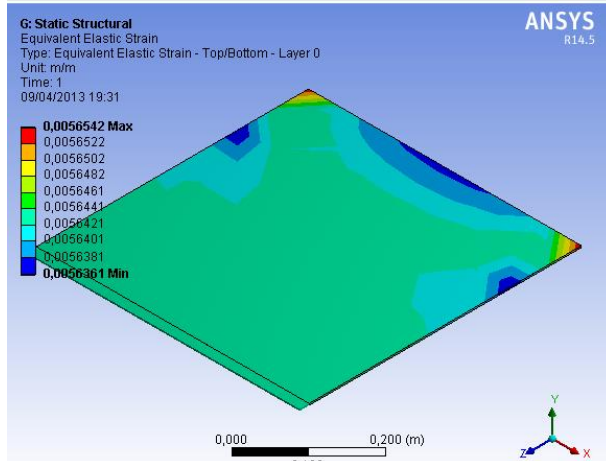
B.5.4 Prove del materiale

Si ha fatto modello un foglio di dimensioni 500x500x3 e subisce i test per verificare la sua somiglianza al legno, nelle seguenti prove è quello di verificare:

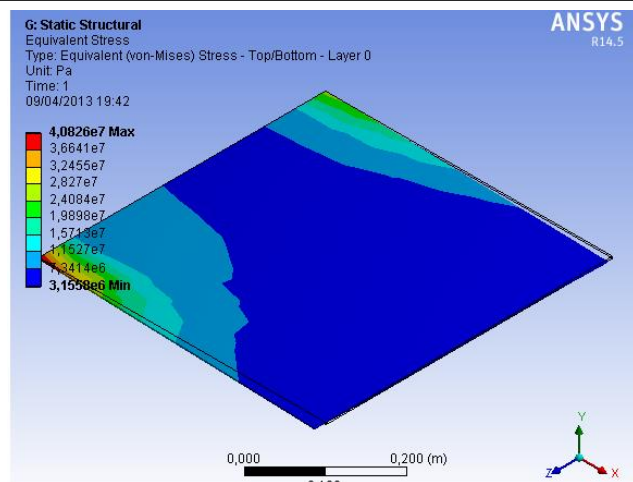
- Controllare la affinità nel comportamento tra il modello e il legno reale.
- Controllare la risposta interna a sforzi seconda dell'orientamento del foglio rispetto alle sollecitazioni.
- Controllare la differenza di comportamento in base alla considerazione del legno come ortotropo o isotropo.



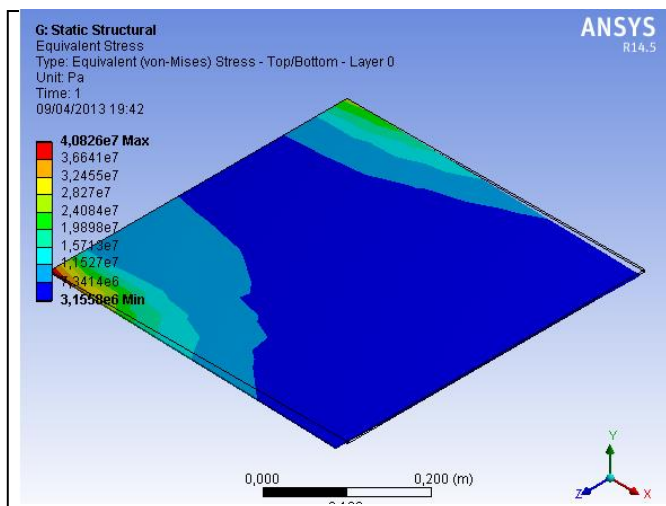
Prova	1
Materiale	Wood1
Maximum deformation (m)	7.9472e-
Equivalent Von-Mises stress (Pa)	2.0131e6
Equivalen elástico strain (m/m)	0.00016289
Safety factor	9.6865



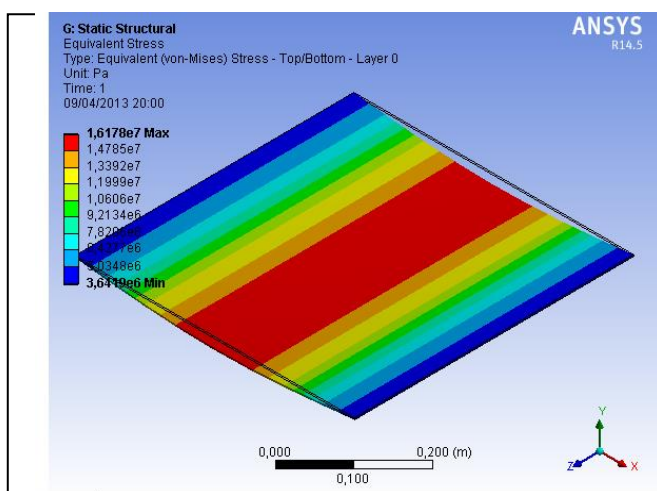
Prova	2
Materiale	Wood1
Maximum deformation (m)	2.3809e-3
Equivalent Von-Mises stress (Pa)	2.0044e6
Equivalen elástica strain (m/m)	5.6542e-3
Safety factor	9.7288



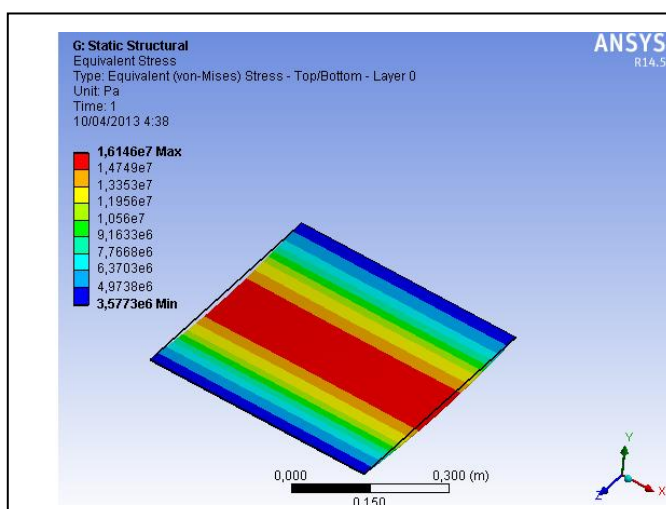
Prova	3
Materiale	Wood1
Maximum deformation (m)	3.6755e-3
Equivalent Von-Mises stress (Pa)	4.0826e7
Equivalen elástica strain (m/m)	8.7623e-3
Safety factor	0.47763



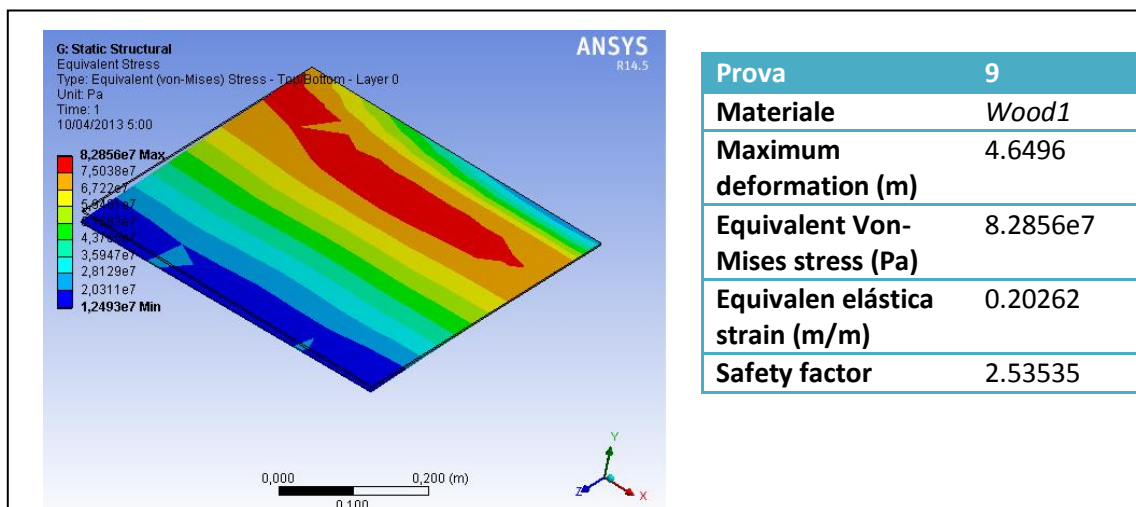
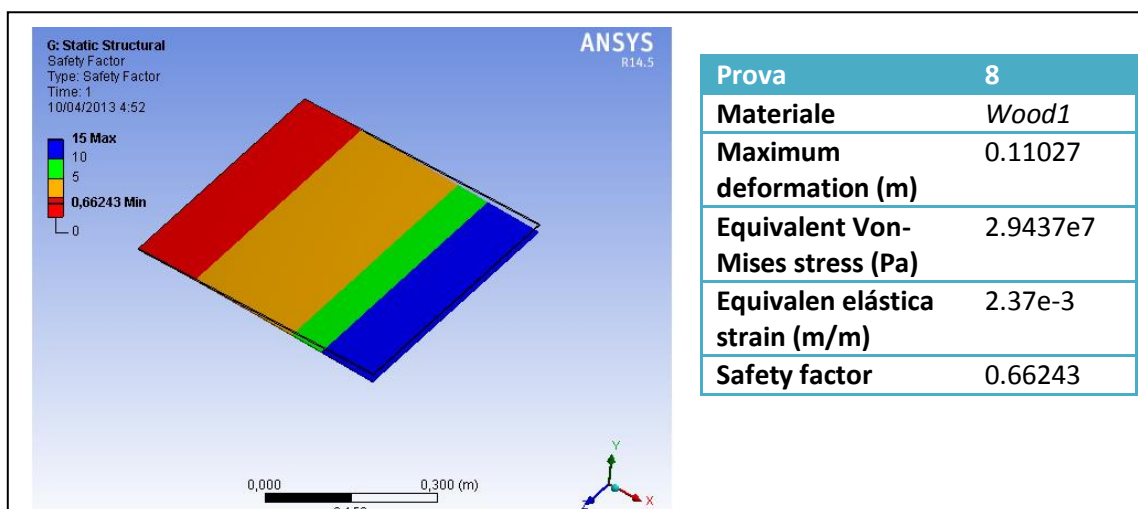
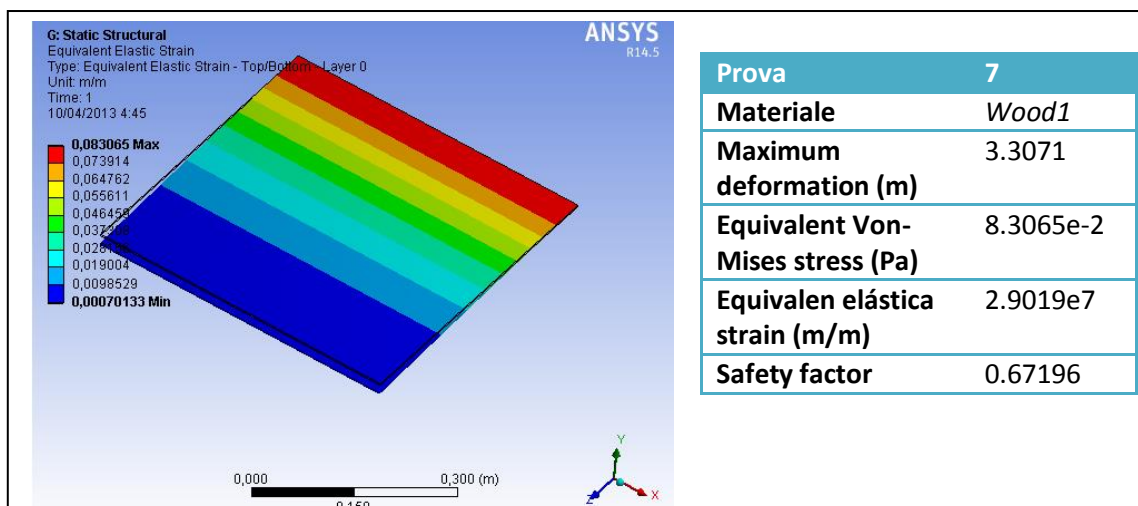
Prova	4
Materiale	Wood1
Material solicitado en eje	L
Maximum deformation (m)	1.3121e-2
Equivalent Von-Mises stress (Pa)	1.2062e7
Equivalen elástica strain (m/m)	3.3968e-2
Safety factor	1.6167

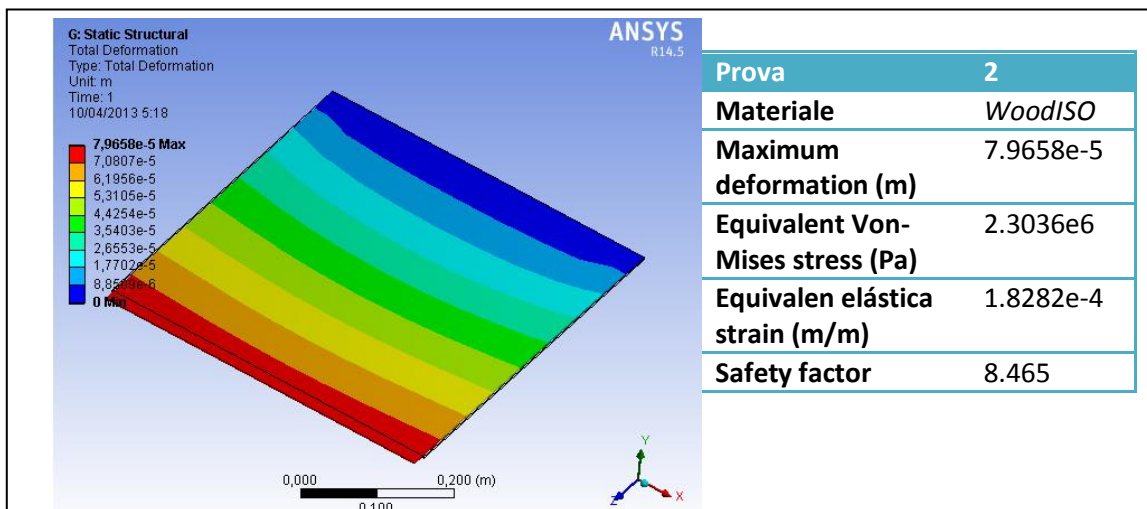
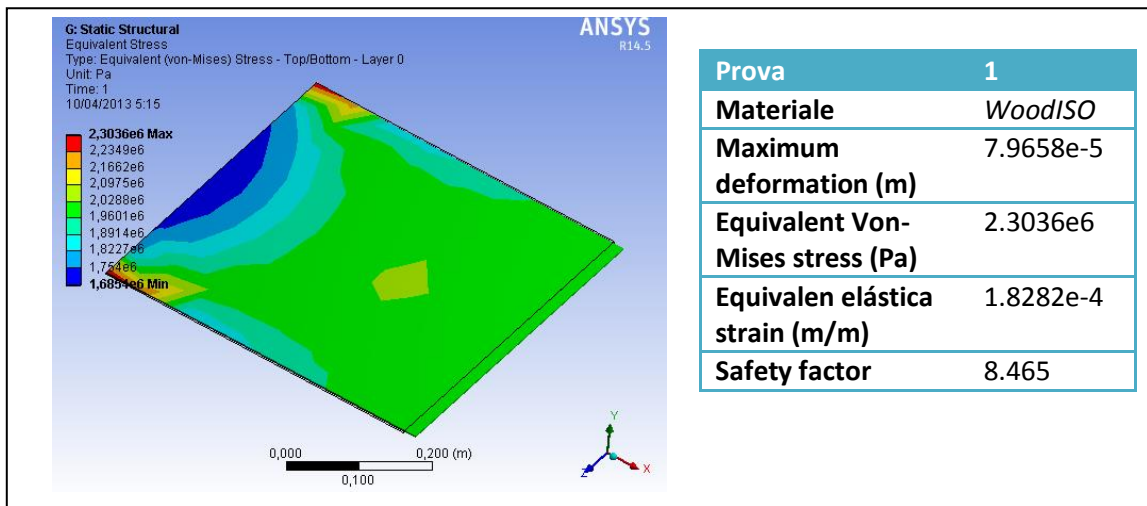
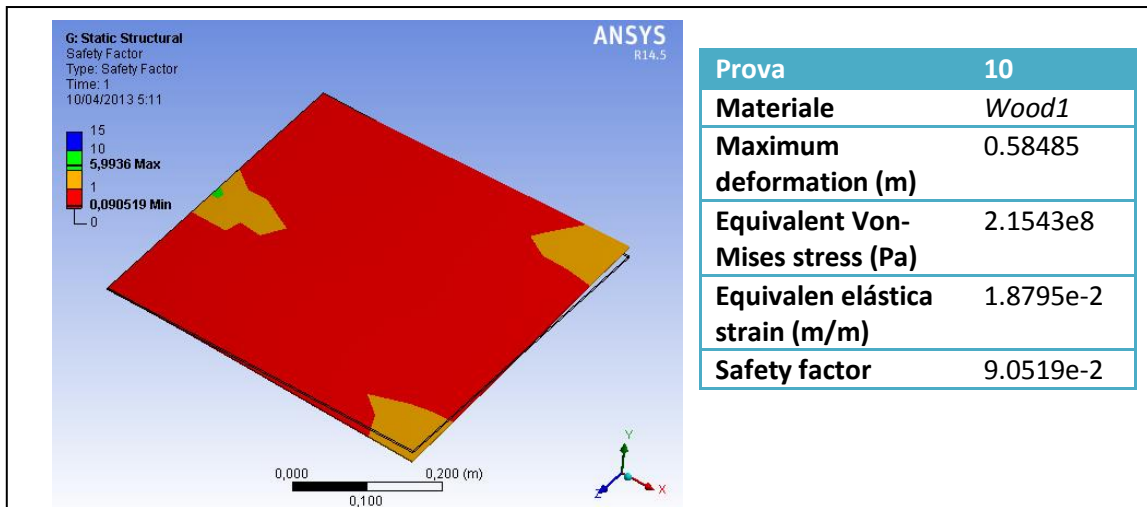


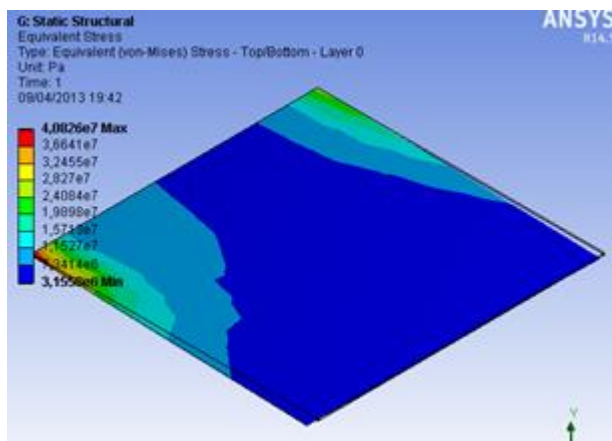
Prova	5
Material	Wood2
Maximum deformation (m)	1.1226e-2
Equivalent Von-Mises stress (Pa)	8.0889e6
Equivalen elástica strain (m/m)	6.5545e-4
Safety factor	2.4107



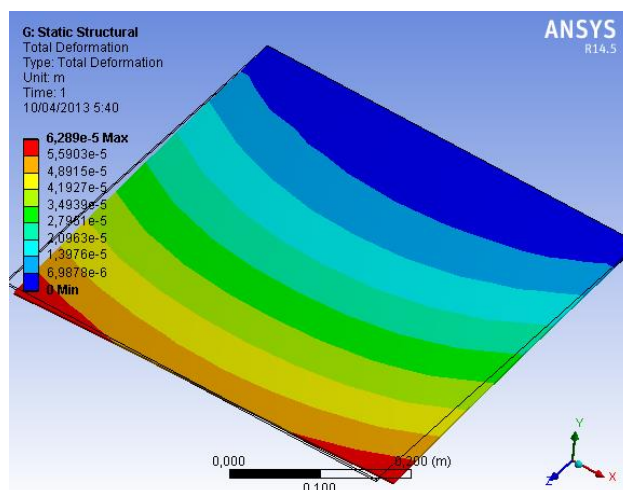
Prova	6
Materiale	Wood1
Maximum deformation (m)	0.33613
Equivalent Von-Mises stress (Pa)	8.0729e6
Equivalen elástica strain (m/m)	2.2789e-2
Safety factor	2.4155



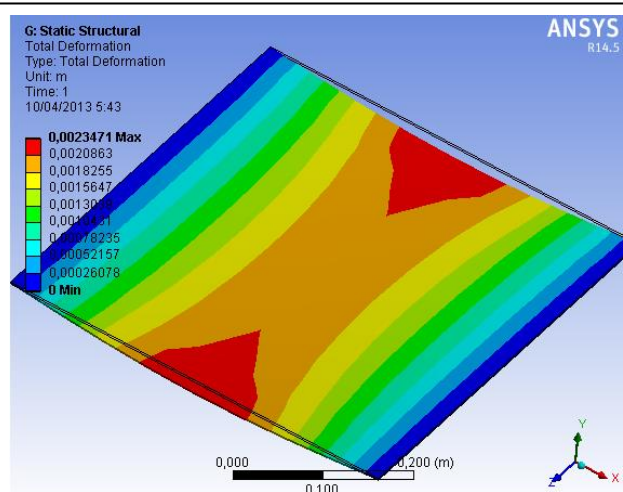




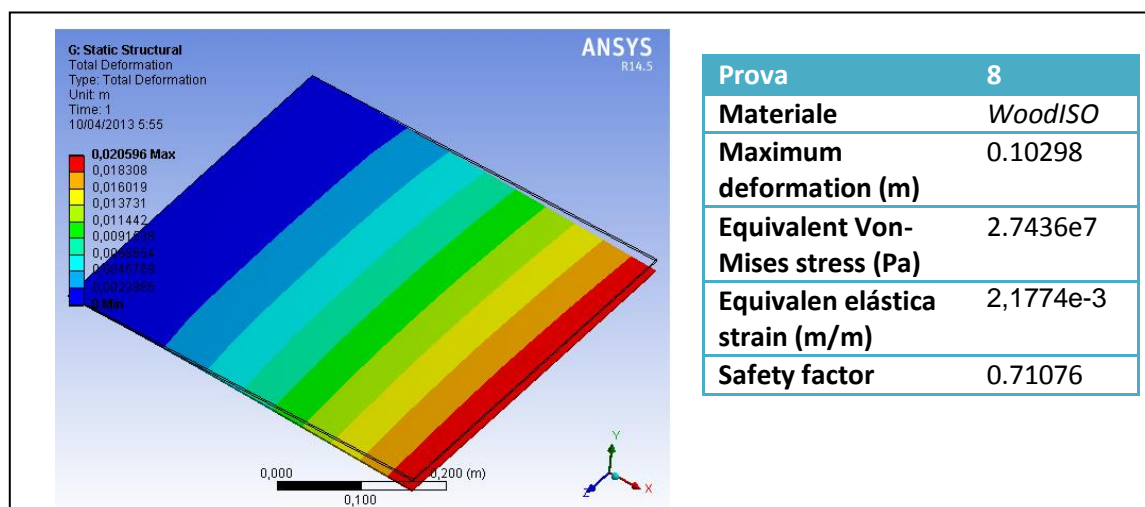
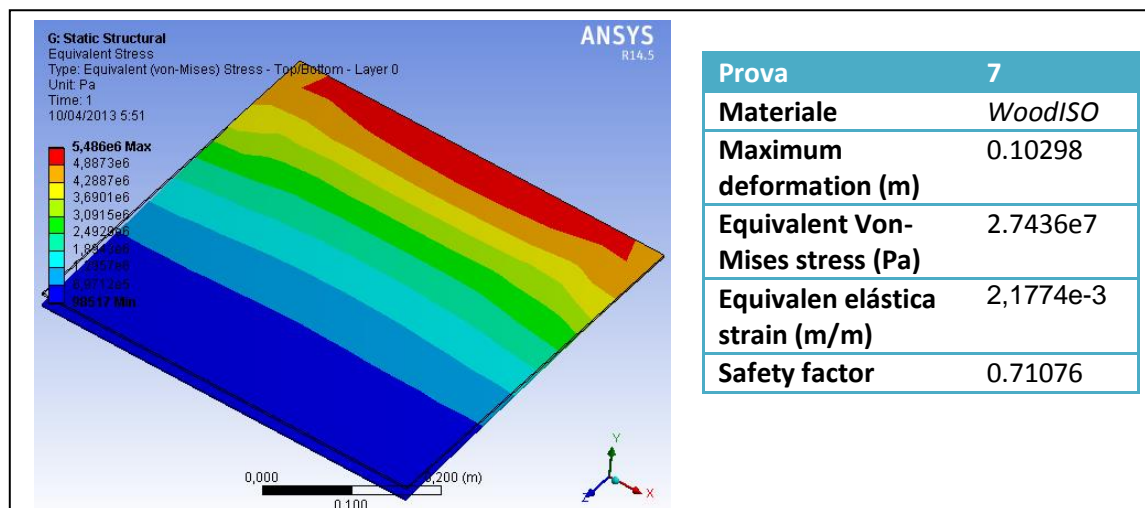
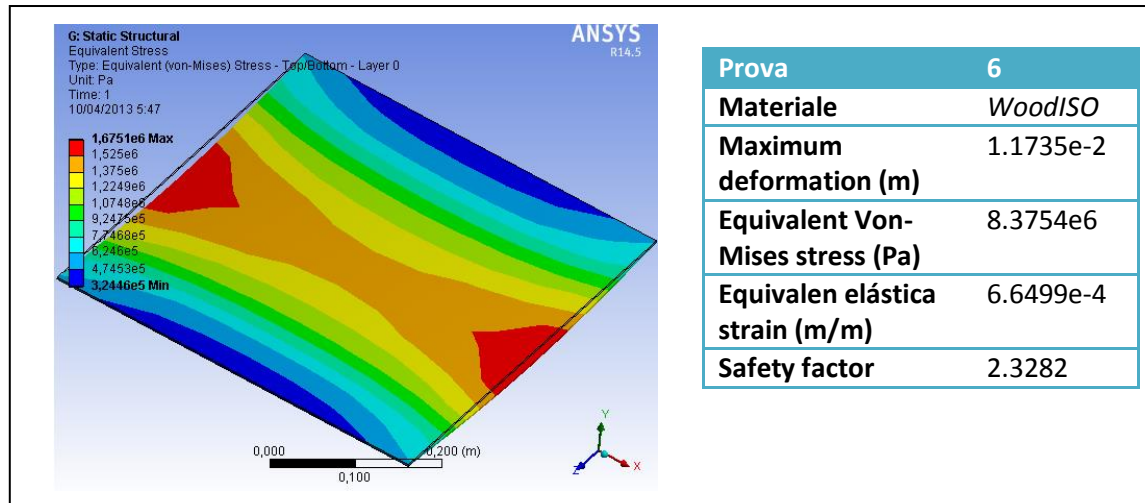
Prova	3
Materiale	WoodISO
Maximum deformation (m)	6.2891e-4
Equivalent Von-Mises stress (Pa)	1.3432e7
Equivalen elástica strain (m/m)	1.066e-3
Safety factor	1.4518

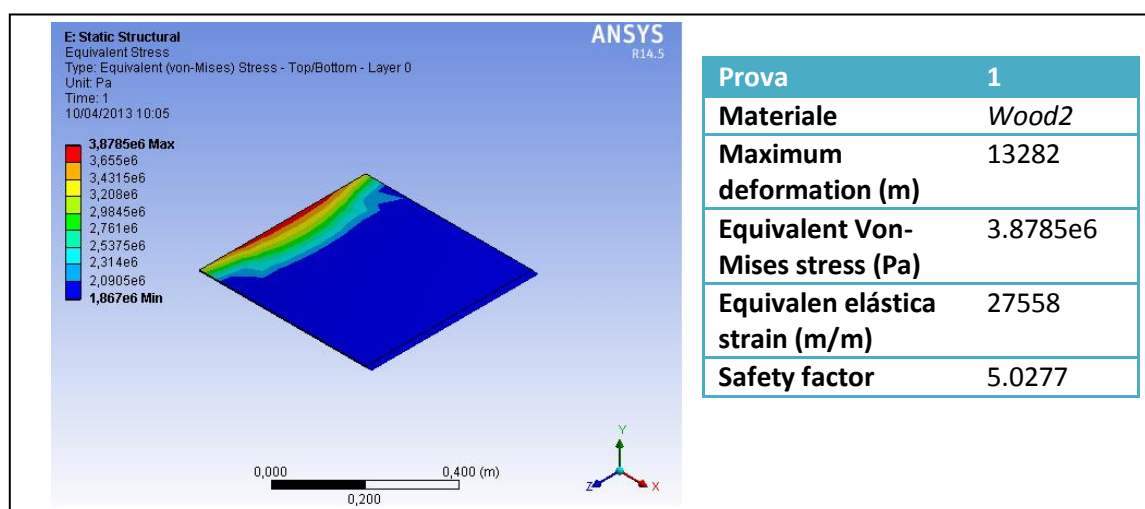
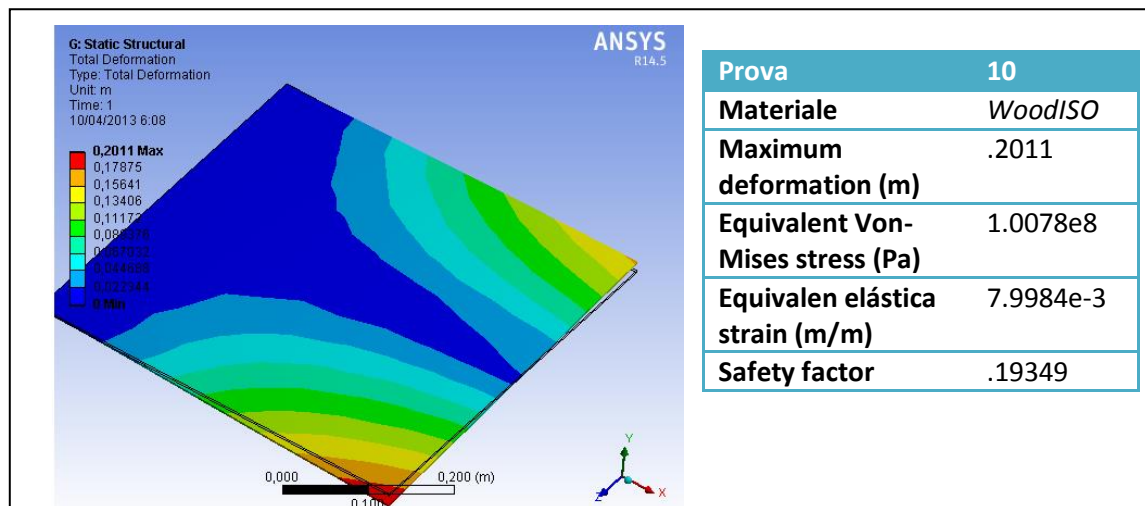
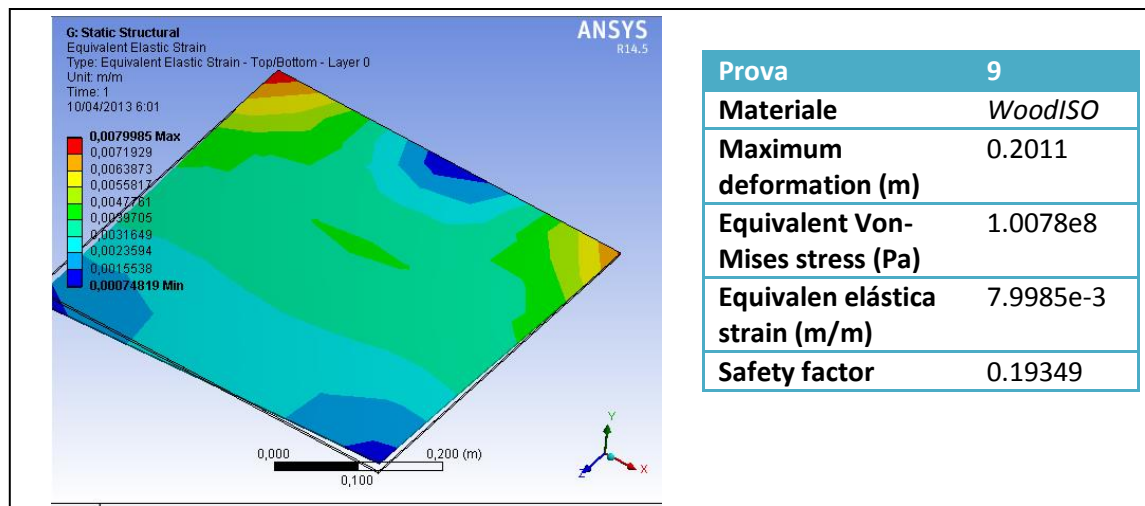


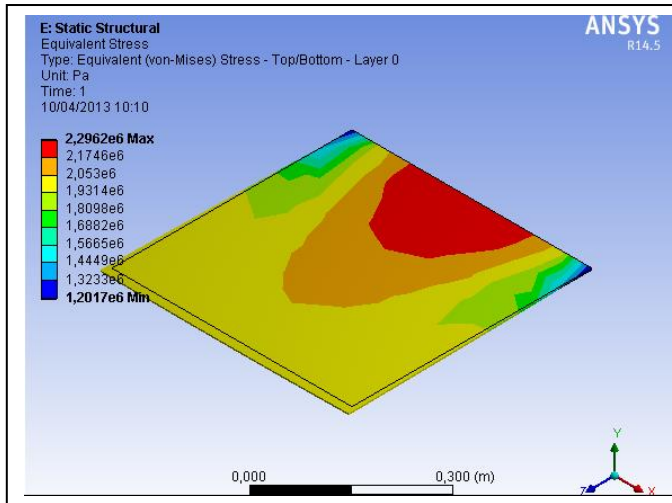
Prova	4
Materiale	WoodISO
Maximum deformation (m)	6.289e-5
Equivalent Von-Mises stress (Pa)	1.3432e6
Equivalen elástica strain (m/m)	1.066e-4
Safety factor	14.518



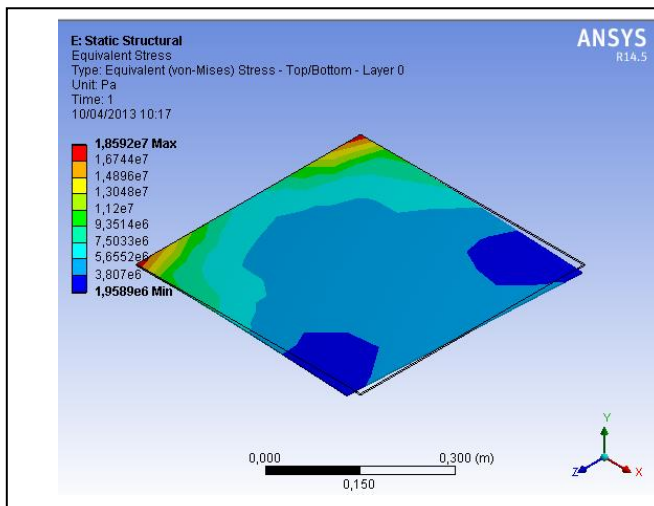
Prova	5
Materiale	WoodISO
Maximum deformation (m)	1.1735e-2
Equivalent Von-Mises stress (Pa)	8.3754e6
Equivalen elástica strain (m/m)	6.6499e-4
Safety factor	2.3282



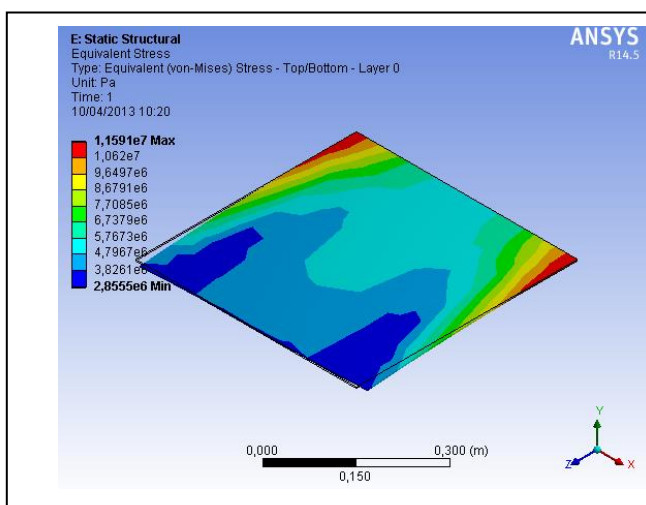




Prova	2
Materiale	Wood2
Maximum deformation (m)	505.68
Equivalent Von-Mises stress (Pa)	2.2962e6
Equivalen elástica strain (m/m)	922.72
Safety factor	8.4922



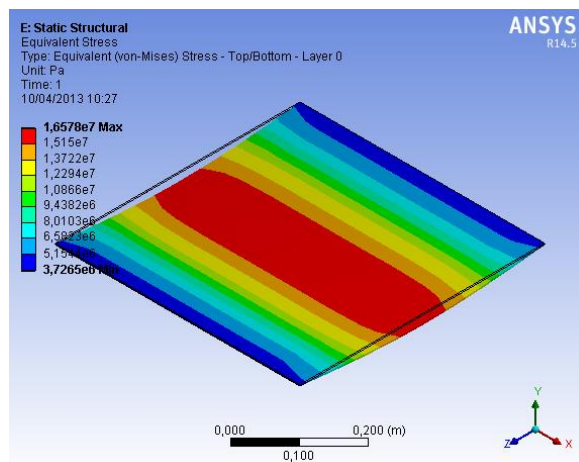
Prova	3
Materiale	Wood2
Maximum deformation (m)	67097
Equivalent Von-Mises stress (Pa)	1.8592e7
Equivalen elástica strain (m/m)	1.369e5
Safety factor	1.0488



Prova	4
Materiale	Wood2
Maximum deformation (m)	4821.2
Equivalent Von-Mises stress (Pa)	1.1591e7
Equivalen elástica strain (m/m)	11323
Safety factor	1.6824

INTERNAL SOLUTION
MAGNITUDE LIMIT
WAS EXCEDED

Prova	5
Materiale	Wood2
Maximum deformation (m)	
Equivalent Von-Mises stress (Pa)	
Equivalen elástica strain (m/m)	
Safety factor	



Prova	6
Materiale	Wood2
Maximum deformation (m)	66099
Equivalent Von-Mises stress (Pa)	8.2889e6
Equivalen elástica strain (m/m)	3422.6
Safety factor	2.3526

INTERNAL SOLUTION
MAGNITUDE LIMIT
WAS EXCEDED

Prova	7,8,9,10
Materiale	Wood2
Maximum deformation (m)	
Equivalent Von-Mises stress (Pa)	
Equivalen elástica strain (m/m)	
Safety factor	

B.6 CONCLUSIONI BLOCCO B

A la luce dei risultati mostrati e studiati i conclusioni sono:

- Si vede una notevole differenza tra i risultati ottenuti con un modello ortotropico e un altro isotropico. Si vede che il modello isotropico è un buon modello pero non è il modello di materiale adeguato per il calcolo del legono.
- Non si ha ottenuto quassi nessuna soluzione con il modello di calcolo anisotropo. Questo può essere a un sbaglio nella introduzione dei dati, ma questo passo è stato più di due volte. Quindi non si sa la ragione di questo fallimento. Inoltre nelle prove che si il software ha ottenuto una soluzione la deformazione che hanno sofferto le lamine non erano possibili. Il prossimi studi essi dovrebbero introdurre limitazioni per la massima deformazione limitata a un 0.05
- I meggiori risultati si ottengono del caso ortotropo. Si verifica il diverso comportamento delle lamine in funzione della direzione dello sforzo. Per i prossimi studi essi dovrebbero introdurre limitazioni per la massima deformazion limitata a un 0.05

BLOCCO C

L'ottenimento dello Springback del legno laminato attraverso il software di elementi finiti ANSYS

Confronto dei risultati ottenuti con quelli ottenuti nel BLOCCO A

C.1 AMBITO BLOCCO C

Si vuole realizzare un modello virtuale che sia di supporto o rinforzi i dati ottenuti teoricamente e praticamente (in prove di laboratorio) nella conoscenza del ritorno elastico del legno.

Per quello si faranno ipotesi di comportamento che saranno spiegate nel blocco.

Esso non è destinato a creare un modello virtuale che prevedere con precisione il ritorno elastico del legno

- La natura statistica del fenomeno
- La complessità di calcolo più parametri partecipando
- La mancanza di materiale di qualità e di prima mano (trazione, curve di comportamento dei materiali, studi precedenti)
- Il tempo limitato di permanenza in Italia, ERASMUS

C.2 OBIETTIVI

- Creazione di un processo esplicito-implicito con il software commerciale ANSYS.
- Creazione di un modello di proprietà dei materiali e comportamenti simili al legno laminato. Creazione di un materiale con lamine in legno e in colla
- Test per determinare l'influenza di alcuni parametri nel processo di recupero elastico del legno.
- Discutere i dati e confrontarli con l'equazione teorica del Istituto Forestale d'Inghilterra indirizzata nel blocco B

C.3 INTRODUZIONE A ANSYS

C.3.1 il software ANSYS e il modulo LS-DYNA

ANSYS Inc. fondata nel 1970 (Swanson Analysis Systems, Inc.), sviluppa e fornisce il supporto engineering per introdurre nuovi metodi per prodotto e di processo e produzione innovativa - che porta a una riduzione sia dei costi e tempo investito per la commercializzazione del prodotto - con programmi ad elementi finiti per la simulazione, che dicono come funzionerà e reagire certo prodotto in un ambiente reale.

ANSYS è un programma di elementi finiti che inizialmente offerto soluzioni per risolvere l'analisi statici lineare. Successivamente i moduli sono stati introdotti con Qui il programma può anche risolvere i problemi dinamici non lineari. gli I moduli principali ANSYS sono: Multiphysics, meccanica, strutturale, professionale, Space Design, Emag (simulazioni elettromagnetiche) Paramesh (adattivi mesh), LS-DYNA ed educativo.

ANSYS LS-DYNA è una collaborazione tra ANSYS e Livermore Software Technology Corporation (LSTC), introdotto nel 1996, il robusto LS-tools DYNA per risolvere i problemi di progettazione complessi. Include elementi 2D e 3D esplicito, analisi automatica dei contatti (superficie singola, una superficie all'altra e nodo superficie), decine di modelli di materiale ed equazioni costitutive, nonché una grande numero Simulazione di possibilità.

Per fenomeni che avvengono ad alta velocità, quali urti, collisioni o processi che si sottopongono a grandi deformazioni, stampati o formati, richiede una molto ampia e profonda conoscenza dei fenomeni fisici che si verificano come pure modelli matematici utilizzati: equazioni costitutive, leggi di comportamento Risoluzione del materiale di propagazione dell'effetto nel modello analizzato, ecc.

C.3.2 Metodi di risoluzione di entrambe applicazioni

ANSYS (metodo di soluzione implicita) e LS-DYNA (metodo di risoluzione esplicita) ANSYS e processi di LS-DYNA offrono soluzioni di natura molto diversa e con diversi metodi di risoluzione:

- **ANSYS**: un programma degli elementi finiti che risolve processi impliciti, cioè risolve sistemi statici / (forze quasi-statiche applicate in grande periodi di tempo) in cui il sistema si comporta linearmente. Risolto in una singola iterazione, definita dai grandi intervalli di tempo, poiché l' facilmente convergere soluzioni che mostrano un'elevata stabilità. Affinché utilizza poche risorse di calcolo.
- **LS-DYNA** ☐: risolvere i processi espliciti, cioè problemi dinamici in cui si verificano impatti problemi, contattare tra le superfici, grande deformazioni e più non-linearità. Come la soluzione esplicita dipende del tempo (il corso tempo totale del processo è diviso in intervalli molto piccolo), il sistema deve essere completamente risolto (e campi di tensione

strain) per ogni intervallo di tempo fino a completare il totale della simulazione. Si richiede, pertanto, un sacco di risorse e di tempo CPU per raggiungere una soluzione, il grado di convergenza dipende dal numero di intervalli in cui ha diviso il tempo totale.

- ANSYS LS-DYNA: abbina il motore di processi LS-espliciti risoluzione DYNA con le funzionalità di anys di pre-elaborazione e post-elaborazione. modulo che dal pre-processor è in grado di generare / importare geometria, ottenere l' soluzione dinamica esplicito (in questo caso si tratta di un processo di disegno) e risultati dal post-processor di ANSYS. Di seguito, vi presentiamo una schema che cerca di riflettere le misure adottate in ciascun modulo di programma

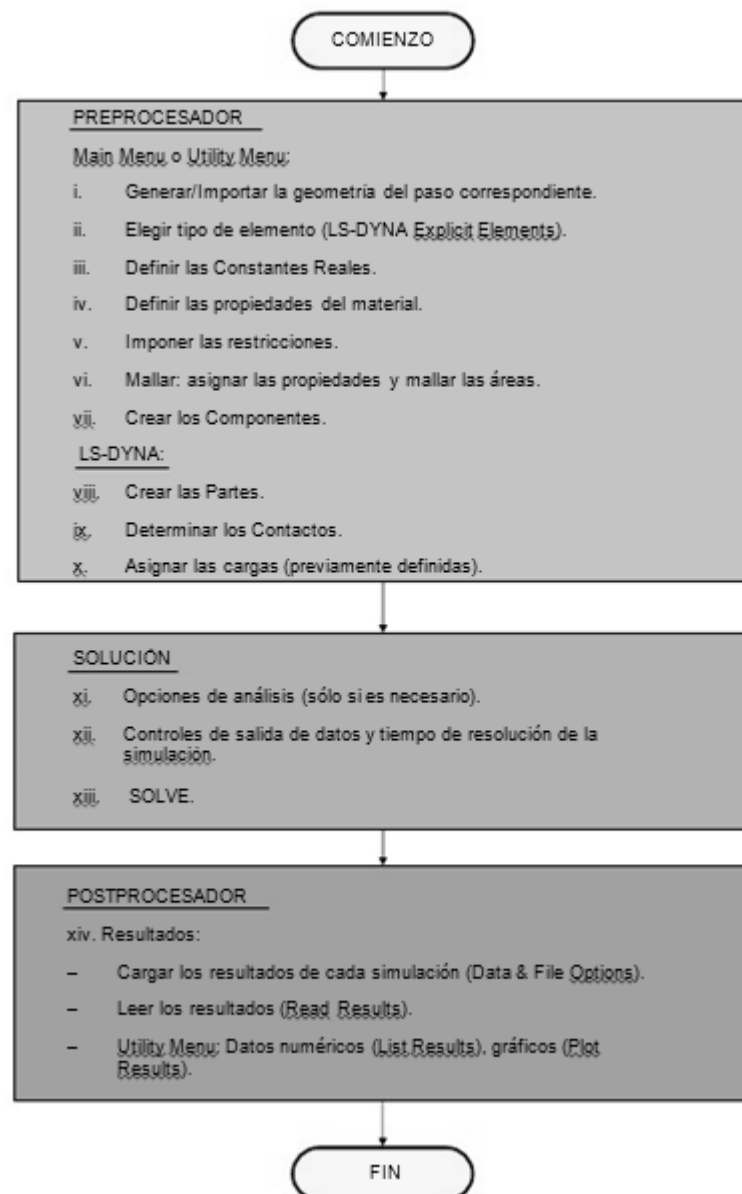


Figura32. Secuencia ANSYS LS-DYNA

Si potrebbe, quindi, di risolvere un problema implicito a esplicitamente prevenendo una crescente quantità di tempo e di risorse computazionali. Nello stesso modo si potrebbe ottenere la soluzione del problema esplicito implicitamente, il che significa la perdita di precisione a l'ora di risolvere prechè non si riflette l'effettivo processo (soluzione problema distorsioni dinamiche basate sul movimento statico), possibile generati durante il processo, ecc. Come vantaggio si potrebbe puntare per accelerare la risoluzione, che risulta molto più elevato.

La tabella comparativa che segue riassume le idee di cui ai paragrafi precedenti in modo da poter confrontare i principali aspetti della metodologia di lavoro con i tre strumenti:

	ANSYS	LS-DYNA	ANSYS LS-DYNA
Soluciones	- Implícitas	- Explícitas	- Implícitas-explícitas. - Explícitas-implícitas.
Tipo de problema	- Estáticos/Cuasi-Estáticos.	- Dinámicos.	- Estáticos y dinámicos.
Comportamiento del sistema	- Lineal.	- No lineal.	- Lineales y no lineales.
Duración del proceso	- Fuerzas aplicadas durante largos lapsos de tiempo.	- Fuerzas aplicadas durante cortos lapsos de tiempo.	- Dependien del proceso.
Tiempo y recursos de CPU	- Corto. - Pocos recursos.	- Muy largo. - Gran cantidad de recursos.	
Resolución	- Una iteración. - Δt muy grandes. - Gran estabilidad.	- Múltiples iteraciones. - Tiempo total del proceso dividido en Δt muy pequeños convergencia del resultado. - Gran inestabilidad.	

Figura33. Comparativa entre ANSYS, LS DYNA y ANSYS LS-DYNA

C.4 SOLUZIONE ESPLICITE-IMPLICITI

Nel piegato delle lamine o lastre "Springback" è un parametro essenziale che complica notevolmente il design della fabbricazione dell'utensile. Il "springback" o ritorno elastico è la variazione geometrica in un pezzo solo dopo il processo di formatura, quando smettono di agire utensili forze esercitate su di esso. È dovuta non solo alla tensione e il carico di snervamento del materiale, ma anche lo spessore, il raggio e l'angolo di curvatura della lastra. L'analisi di "springback" è diventata una sfida per le simulazione di piegato.

Il processo di piegatura di lamine che abbiamo fatto nel laboratorio e il suo recupero elastico si assomiglia perfettamente un esplicito processo-embedded, ciascuna delle parti sono:

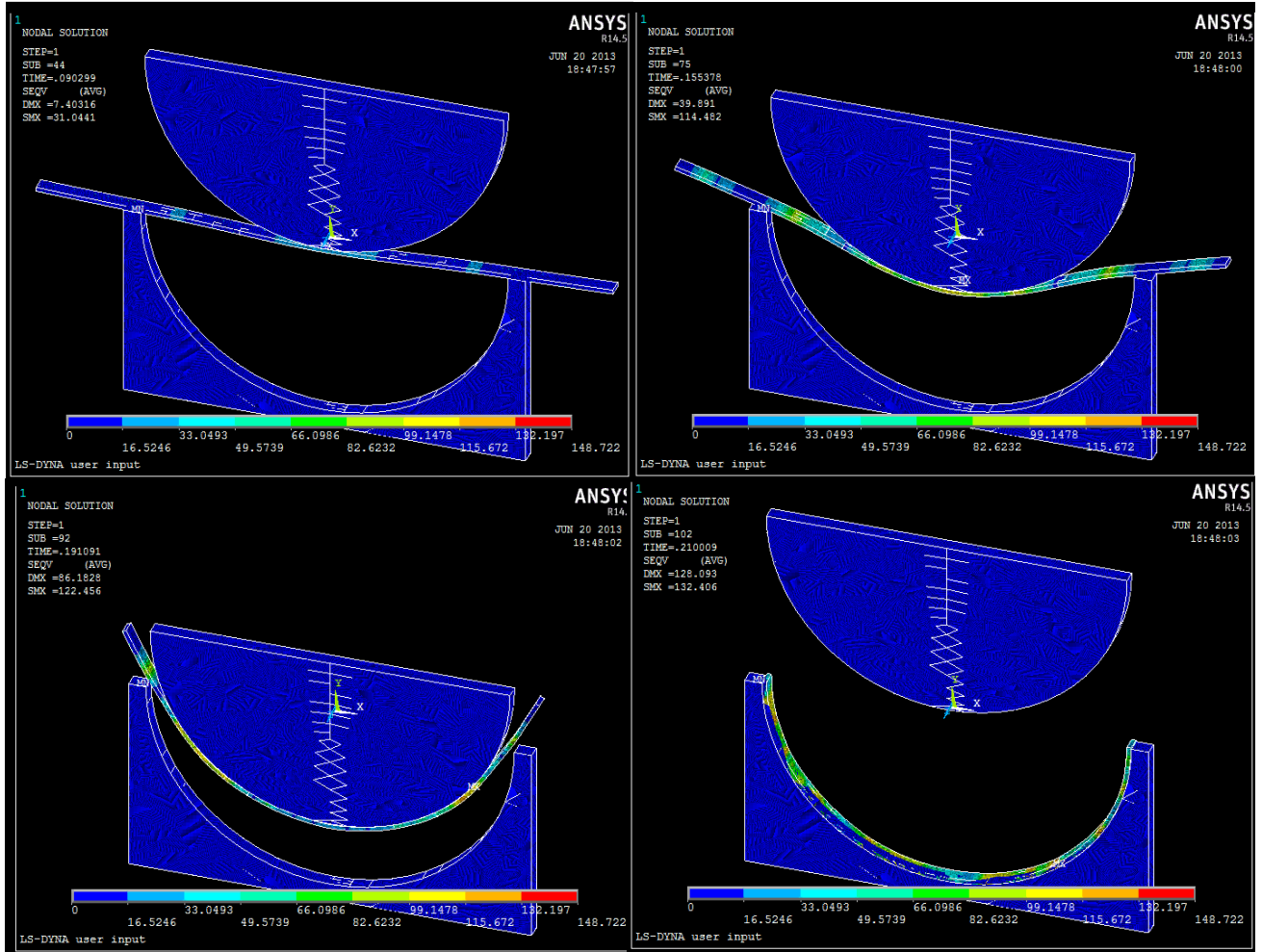
- Esplicita: discesa dello stampo che contatta con le lamine e si produce la sua deformazione fino al contatto con il contra-stampo. La simulazione del processo di formatura è dinamico ed esplicito.
- Implicita: Calcolo della recupero elastico delle lamine (retirata improvvisa dello stampo)

C.4.1 Passi nella risoluzione esplicito-implicito:

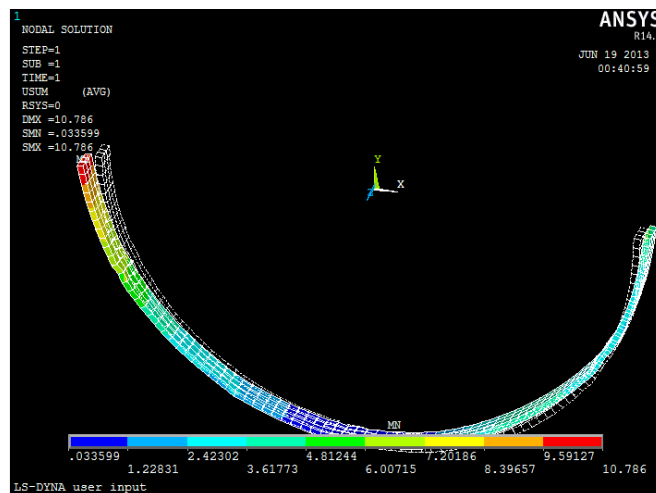
1. Avviare ANSYS utilizzando "Jobname1". Solving (solve) e completare l'analisi.
2. Elementi shell 163 e / o 164 per l'analisi dello springback
3. Salvare le analisi esplicito nel database con un nome di file Jobname.db
4. Change filename to Jobname2 per evitare di sovrascrivere il database.
5. Aprire il Pre-processor.
6. Convertire il elementi di analisi esplicita a implicita (vedere la corrispondenza tra di essi nel manuale di ANSYS LS-DYNA).
7. Ridefinire le opzioni: Costanti Royals, proprietà dei materiali, condizioni al contorno e dei valori di carico di qualsiasi elemento esplicito che saranno diventano elemento implicito.
8. Disattivare " shape checking " elementi possa aver subito una notevole deformazione durante le analisi esplicito.
9. Ricarica la geometria di stato di deformazione attuale (aggiornamento geometria).
10. Deselezionare o eliminare gli elementi non necessari (principalmente modellato come corpi rigidi in analisi esplicita), o renderli validi. Altrimenti, può causare errori durante la risoluzione del processo. Lo stesso vale per i corpi rigidi. È necessario importare il precedente comando RIMPORT stato di stress.
11. Immettere nuovamente la soluzione.
12. Immettere le necessarie restrizioni sul modello di modificare o aggiungere le condizioni al contorno per le analisi esplicito.
13. Tensioni di importazione e il cambiamento di spessore quando si cambiano gli elementi espliciti impliciti.
14. Controllare il sistema prima di lanciare la simulazione.
15. Risolvere e finire l'analisi.

PROCESO ESPLICITO-IMPLICITO SPRINGBACK LEGNO

PARTE ESPLICITA



PARTE IMPLICITA



C.4.2 limitazione del processo esplicito implicito: la scelta del tipo di elemento.

La libreria di ANSYS (Main Menu > Preprocessor > Material Properties) consente di scegliere tra una vasta gamma di elementi con diverse caratteristiche con cui i processi possono essere modellati con il tipo molto diverso comportamento: piastra, "mattoni", molla, smorzatore ... Poi c'è di scegliere quello più adatto al legno, per ottenere risultati, precisi, affidabili e comparabili con la realtà

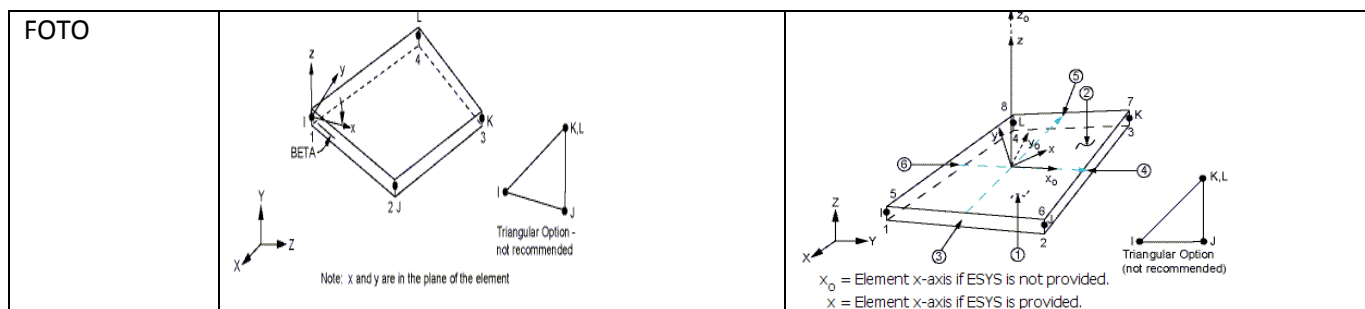
Come si ha spiegato nella sezione precedente per effettuare analisi esplicito-implicito dovrebbe scegliere gli elementi che hanno il loro corrispondente elemento implicito esplicito. Di seguito una tabella degli elementi consentito un processo esplicito-implicito:

Explicit Element Type	Implicit Element Type
SHELL163	SHELL181
SOLID164	SOLID185
COMBI165	COMBIN14
MASS166	MASS21

L'elemento scelto è "Shell 163" e il suo corrispondente implicito "Shell 181".

Di seguito sono le caratteristiche e i materiali supportati da ogni elemento.

	SHELL 163	SHELL 181
UTILITÀ	Come elemento Shell è adatto per modelizzare lamine	È adatto per strutture di lamine sottile. Costruzione tipo Sandwich
NODI Y G. LIBERTAD	Elemento formato dai 4 nodi con 12 g.d.l. ogni uno (v , a , s , w en X,Y,Z)	Elemento formato dai 4 nodi con 6 g.d.l. ogni uno (dislocamento e rotazione in X,Y,Z)
SFORZI SOPORTATI	Suporti sforzi di flessione e comportamento di membrana consente di applicare carichi sullo stesso piano e normale	Suporti sforzi di flessione e comportamento di membrana consente di applicare carichi sullo stesso piano e normale
TIPO DI ANALISI	Usato solo in un'analisi dinamico esplicito (non lineare).	Análisi lineare. Implicito.
MATERIALI SOPORTADI	Isotropic Elastic, Orthotropic Elastic, Bilinear Kinematic, Plastic Kinematic, Blatz-Ko Rubber, Bilinear Isotropic, Temperature Dependent Bilinear Isotropic, Power Law Plasticity, Strain Rate Dependent Plasticity, Composite Damage, Piecewise Linear Plasticity, Modified Piecewise Linear Plasticity, Mooney-Rivlin Rubber, Barlat Anisotropic Plasticity, 3-Parameter Barlat Plasticity, Transversely Anisotropic Elastic Plastic, Rate Sensitive Power Law Plasticity, Transversely Anisotropic FLD, Elastic Viscoplastic Thermal, Johnson-Cook Plasticity, Bammann.	Linear Elastic, Elastoplastic, hyperelastic. Only isotropic and orthotropic linear elastic properties se pueden usar para elasticidad. Von-Mises isotropic hardening plasticity models pueden ser importados con bilinear o multilinear isotropic hardening. Kinematic hardening plasticity y creep materials models no sono soportati per queste elemento.
ORIENTAZIONE	X nodo i-j. Z normale alla lamina.	X nodo i-j. Z normale alla lamina.



La tabella sopra porta alle seguenti condizioni nella scelta del tipo di materiale:

- Processo esplicito: "Isotropic Hardening" è l'unico materiale che si può essere utilizzato nel processo esplicito senza ottenere errori nel seguente processo implicito. Che porta a un comportamento isotropo imporre un legno in stato di plasticità, nonostante il comportamento noto di ortotropici legno.

Comunque l'effetto della elasticità e non quello della plasticità è l'effetto più importante nel processo di recupero elastico.

- Processo implicito: usiamo un modello di materiale ortotropo. Utilizzando "isotropa Hardening" nel modello esplicito non ci sono errori nel implicita.

C.5 PROCESSO ESPlicito

C.5.1 Processo esplicito: metodologia e processo di costruzione.

Nell'analisi esplicita si effettua la simulazione del processo di piegatura del foglio di legno. Consapevole della complessità di fare un process dinamico esplicito paragonabile a quello svolto in laboratorio dobbiamo fare una serie di ipotesi e semplificazioni per rendere possibile l'analisi.

C.5.2 Ipotesi da partenza process o esplicito.

- Gli strumenti sono modellati come "corpi rigidi". Si presume che gli stampo e contra-stampo non subiscono alcuna deformazione durante il processo.
- È considerato un unico foglio di spessore pari alla somma di tutti gli spessori dei fogli i quali formano il legno laminato. Cioè, se un test è realizzato con tre strati di 0.6 mm, nella modellazione si deformerà un singolo foglio di spessore di 1,8 millimetri.
- Non si tiene conto l'effetto della colla o resina. Questo perché durante il processo di piegatura la colla non è solidificata e non fornisce alcuna resistenza al curvato
- In plasticità è considerato un comportamento isotropo di legno. Questa ipotesi è imposto dalle limitazioni dell'analisi del programma.
- Le proprietà iniziali del foglio sono considerati costante, densità, coefficiente di Poisson, il modulo di Young, modulo tangente e la rottura coefficiente di stress.

- Non si tiene conto le possibile variazioni di temperatura nella lamina durante il proceso (curvato a freddo). Il modello scelto non riguarda i possibili cambiamenti di temperatura
- I coefficienti di attrito tra stampi e la lamina saranno quelli che non producono tensione nel modello. Cioè, i componenti sono lubrificati.
- Non si tiene conto le tensioni dovuti all'impatto dello stampo nella lamina. Il motivo è che queste tensioni non si producono nel modello reale. Per questo si faranno prove con diversi tempi di curvato, e si scieglierà il tempo che di meno tensioni.

I ipotesi definiti più prima sono per semplificare il problema e risparmiare tempo e inoltre per garantire la sua similarità con il modello reale.

C.5.3 La scelta del tipo di elemento.

L'elemento scelto è la "Shell 163", le circostanze della loro scelta e le loro proprietà sono stati spiegati nella sezione precedente

C.5.4 Costanti reali.

Costanti reali definite dell'elemento "Shell 163" saranno diversi a seconda dell'oggetto considerato:

- lamina. Sui costanti reali sono:
 - shear factor: 5/6 valore raccomandato per ANSYS HELP.
 - Nº integration points: 5
 - spessore: lo spessore della lámina dipenderà dei numeri di lámine considerate.
- Stampo e contra-stampo. Sui costanti reali sono:
 - spessore: 0.001mm. Più avanti si spiegherà stampo e contra-stampo sono considerati elementi rigidi e, quindi questo valore solo serve per diminuire il tempo di calcolo.

C.5.5 Proprietà del materiale.

A seconda delle proprietà assegnati all'elemento risponde in un modo o nell'altro agli sforzi e restrizioni cui esso è sottoposto. Pertanto è importante assegnare proprietà simili a quelli del materiale reale, al fine di creare un modello accurato.

- "Isotropic Hardening": modello di indurimento bilineare isotropo classico, che è indipendente dalla velocità di deformazione. In prove di laboratorio il curvato di legno viene eseguito a bassa velocità in modo da non rompere il materiale, pertanto nella

simulazione dinamica, la velocità non è un parametro importante. Il modello "Isotropic Hardening" ha due periodi, uno elastico e l'altro plastico, per rappresentare il comportamento sforzo-deformazione di un materiale. Il comportamento sforzo-deformazione solo dipende di una temperatura, perché in tutto questo processo non varia. I valori di partenza di questo modello sono:

PARAMETRO	DESCRIZIONE	VALORE
DENS	Densità	7.5E-007 Kg/mm ³
E _x	Modulo di elasticità a trazione X [MPa]	13700
NUXY	Coefficiente di Poisson	0.073
Yield stress	Tensione di snervamento [MPa]	125
Tangent modulus	Módulo tangente [MPa]	212

Il modelo di comportamento "Isotropic Hardening" è aplicado all'elemento Lamina.

- **"modello rigido"**: un corpo rigido è una idealizzazione di un corpo solido con una data dimensione in cui non ci sono deformazioni. In altre parole, la distanza tra due punti dati di un corpo rigido rimanga costante nel tempo indipendentemente da forze esterne applicate su di esso.

Per modellare lo stampo e il conta-stampo verrà utilizzato "corpi rigidi". Questo perché il materiale con cui sono costruiti i stampi ha una durezza molto elevata e molto superiore al materiale di essere deformato (lamina). Motivo per suporre infinita rigidità (l'usura è poca e non è andare a prendere in considerazione in questo processo), semplificando l'analisi globale. Tuttavia, dobbiamo tenere a mente quando si utilizzano questi materiali, si sta facendo un errore (accettabile) perché in realtà questi materiali si usurano e si deformano.

Giustificazione dell'uso di questo materiale:

- Può essere utilizzato in analisi cinematica.
- Semplificazione delle analisi. Solo contemplato deformazione di uno degli oggetti del processo.
- Soluzioni più veloce, perché questi elementi possono essere ingranate con una dimensione (geometria vincolata) relativamente grande con meno nodi e quindi un più basso tempo di simulazione computazionale di ogni fase del disegno.
- Sono molto robusti. Nessun problema di convergenza

I valore di partenza di questo modello sono:

PARAMETRO	DESCRIZIONE	VALORE
DENS	Densità	7.8E-006 Kg/mm ³
E _x	Modulo elasticità acciaio	2.1E+005
NUXY	Coefficiente di Poisson	0.3

Nell'analisi esplicito no si tiene in conto l'elemento della fissazione dei fogli, colla o resina. Questo è perché nel processo di piegatura dei fogli la colla non ancora asciutta e non dà alcuna reazione nel processo. Nel processo implicito deve essere prese in considerazione il suo comportamento e indicano le sue proprietà.

C.5.6 Restrizioni

Le restrizioni sono introdotte per assomigliare il processo virtuale al processo vero e proprio, le restrizioni nel processo esplicito sono:

- Contra-stampo: tutti i spostamenti e giri ristretti.
- Stampo : solo permesso lo spostamento verticale, ass Y
- Lamina : tutti gli spostamenti e le rotazioni consentiti. Si è osservato che se si restringe una certa libertà nell'elemento lamina nell'analisi esplicito, allora il corrispondente implicito avviene seri problemi di convergenza, con conseguente casi no reali. Inoltre se è limitato certo grado di libertà dell'elemento anche è modificato il suo ritorno elastico.

La tabella seguente mostra le limitazioni più chiaramente

MODELLO	RESTRIZIONI	
	SPOSTAMENTO	GIRI
STAMPO	X,Z	X,Y,Z
CONTRA-STAMPO	X,Y,Z	X,Y,Z
LAMINA	-	-

C.5.7 Creazione di geometrie

Tre componenti sono stati creati da elementi "Shell 163", che sono: lo stampo, il contra-stampo e l'oggetto di analisi, la lamina.

- Stampo: oggetto con geometria di semicilindro, la cui funzione principale è quella di spingere il componente lamina, deformando e rendendo acquisisce la sua strada. Per esso sarà fornito con movimento in verticale asse Y.

La misura dello stampo dipenderà delle prove. Quasi tutte le prove sono fatte con un raggio di curvatura tra nodi di 126.5mm

Lo spessore del modello è di 10mm. La causa principale della elezione di quello spessore è non introdurre dei errori nel processo dello springback dovuti a rotazioni intorno all'asse Y della lamina

Si ritiene che lo stampo è rigido, è perché rispetto alla lamina non soffre deformazioni

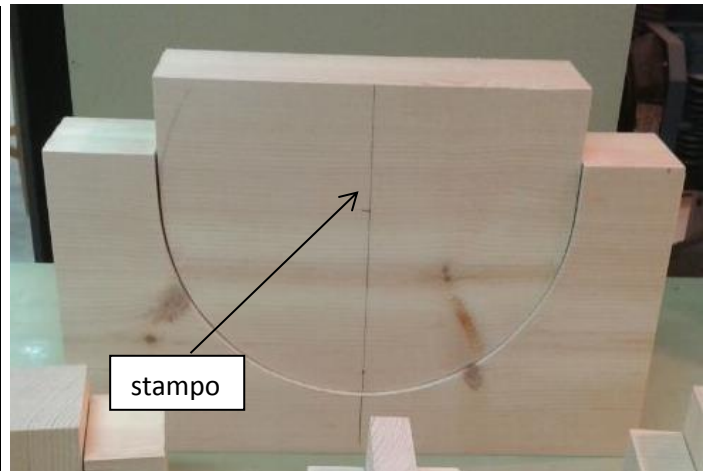
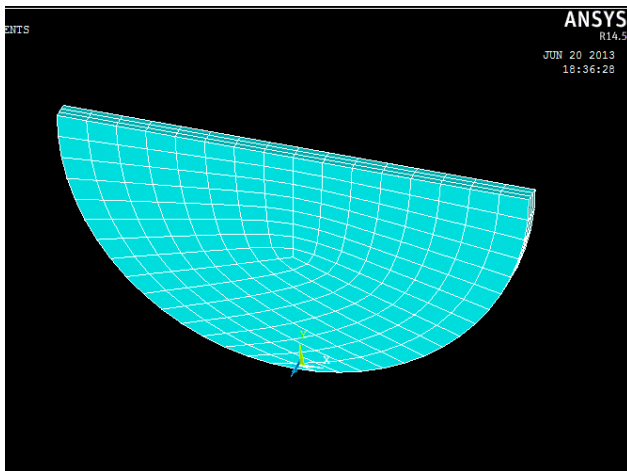


Figura34. Confronto della muffa reale e virtuale.

- Contra-stampo: oggetto rettangolare con una cavità semicilindrica. Sua funzione principale è piegare la lamina insieme con lo stampo. A sua volta rende impossibile che durante l'indurimento delle verificano movimenti colla o resina nella lamina piegata.

La dimensione dal modello dipendono dalla prova. Quasi tutte prove vengono eseguite con un raggio di curvatura dei nodi di 126,5 millimetri.

Lo spessore del modello è di 10mm. La causa principale della elezione di quello spessore è non introdurre dei errori nel processo dello springback dovuti a rotazioni intorno all'asse Y della lamina

Si ritiene che lo stampo è rigido, è perché rispetto alla lamina non soffre deformazioni

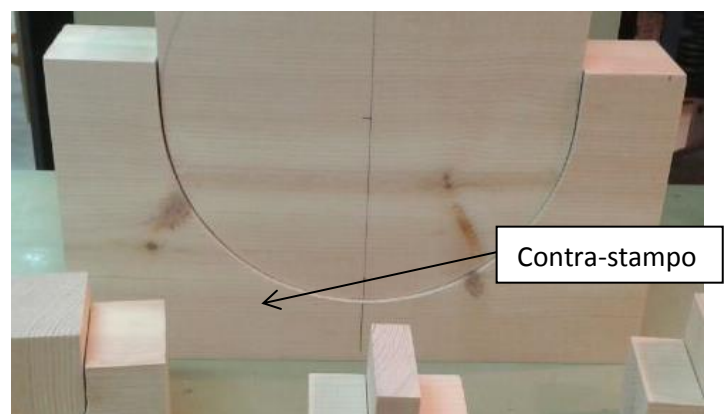
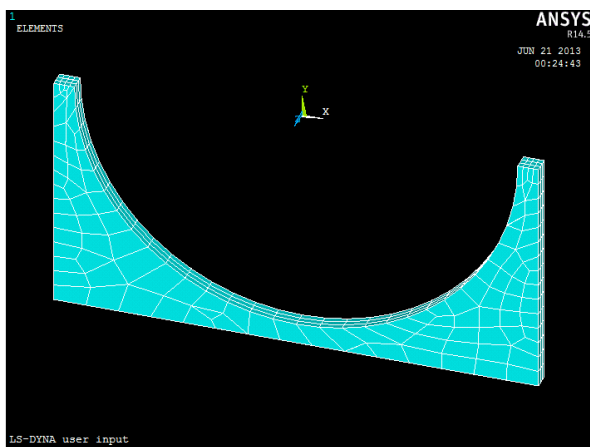


Figura35. Confronto della contra-muffa reale e virtuale

- **Lamina:** è l'oggetto che deve essere curvato. È composto per un elemento Shell, lo spessore dipenderà dal numero di lamine, ogni lamina ha uno spessore di 0.6mm. La larghezza della lamina sarà di 10mm. La scelta di questa larghezza è stata per ridurre la tendenza a girare intorno all'asse Y e, così ottenere dati dello springback più affidabili. Il giro intorno all'asse Y, nonostante è un processo che si produce frequentemente, è un fenomeno che non importa in questo studio perché si verifica principalmente variazioni di umidità del legno.

La lunghezza della lamina dipende delle misure dello stampo e del raggio di curvatura. La lunghezza della lamina sarà quella richiesta per il processo di piegatura nel angolo finale di curvatura è di 180 °

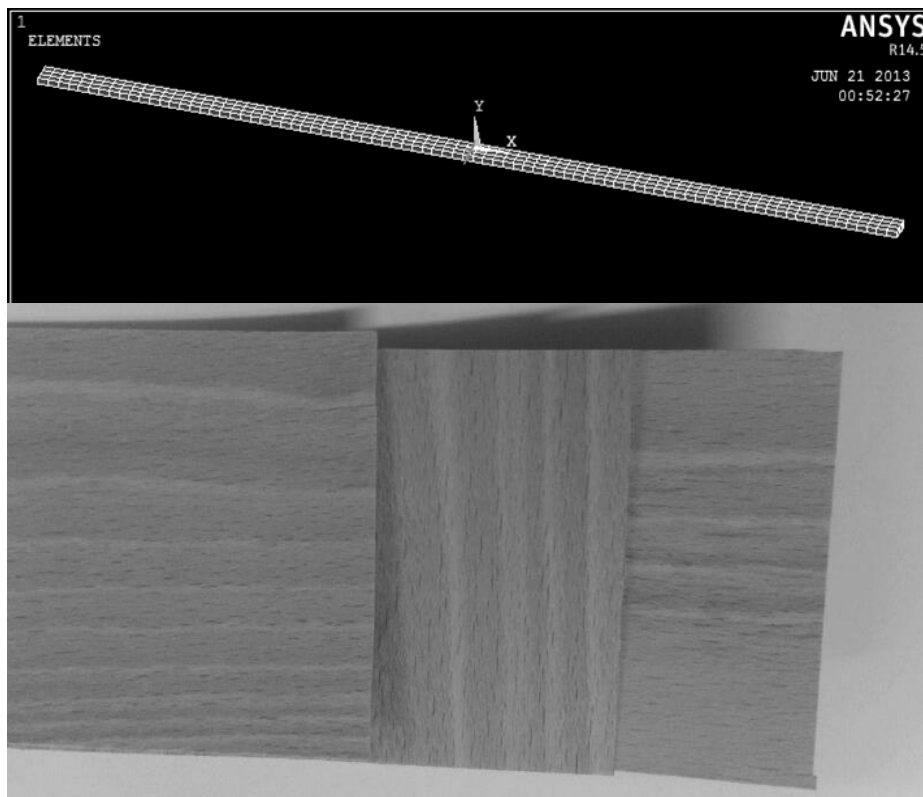


Figura36. Imagenes comparativas entre lámina virtual y real.

C.5.7 Meshing

Quando si arriva a rendere il meshing deve essere tenuto presente che il programma calcola l'intero processo attraverso piccoli intervalli di tempo (passo di tempo). Tempo Δt questi passi determinerà l'accuratezza della soluzione finale. Per default il programma sceglierà un Δt basata sulla lunghezza minima delle maglie di qualsiasi degli oggetti coinvolti nell'analisi, $L_{min.}$, E la velocità del suono c .

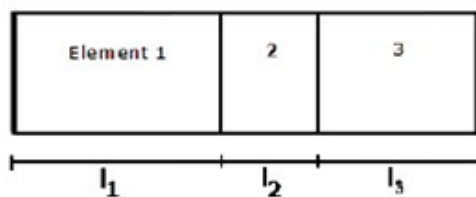


Figura37. Cálculo del incremento de tiempo de la simulación

Inoltre, per un meshing dato, il passo minimo di tempo dipende dalla velocità del suono, che è funzione delle proprietà del materiale (densità, modulo elastico e coefficiente di Poisson). È inoltre possibile utilizzare il comando per controllare EDTP tempo passo Dt nell'analisi in esame

$$\Delta t_{min} = \frac{l_{min}}{c} \quad c = \sqrt{\frac{E}{(1 - \nu^2) \cdot \rho}}$$

Dove :

ν = Coef. de Poisson

ρ = densità

E = Modulo di Young.

Pertanto, la dimensione della maglia influenzerà direttamente nel tempo di risoluzione del processo e l'accuratezza dei risultati ottenuti. Dobbiamo raggiungere un livello di impegno tra i risultati più accurati possibili e un tempo di risoluzione ragionevole.

Come elementi rigidi, muffe e contro-stampo possono essere magliati con un formato più grande, in modo da semplificare e accelerare il calcolo. Inoltre è necessario che la prima parte di stampo a contatto con la lamina avente una maglia più raffinata per produrre un buon contatto tra lo stampo e la lamina. Sarà spiegato più avanti nella sezione successiva.

Inoltre, l'elemento lamina, che è quello di deformarsi e di elevate sollecitazioni sarà magliato con una dimensione piccola come fosse necessario, al fine di ottenere dati precisi e affidabili. La tabella seguente specifica il numero di nodi che costituiscono ciascun elemento, così come la densità di nodi Sulla Mesh.

ELEMENTI	NODI	DENSITÀ NODALE nº nodi per cm ²
STAMPO	988	1.8825
CONTRO-STAMPO	458	1.4639
LAMINA	1332	33.134

C.5.7 Il contatto tra le superfici.

Poiché questo è un processo di piegatura, ci deve essere un contatto tra i corpi, in modo che il risultato sia la deformazione della lamiera.

ANSYS LS-DYNA consente rappresentare contatti realiste tra componenti o parti in funzione dell'analisi. Nell'analisi dinamica esplicita, si indicano le superfici a contatto, il tipo di contatto, e altri parametri ad esso correlati.

Nel processo splicito si definiscono due contatti, uno tra lo stampo e la lamina e l'altro tra il contro-stampo e la lamina.

In ogni contatto si definisce il tipo di contatto e dopo le opzioni di contatto:

- Contatto stampo-lamina

- Tipo de contacto

Contatto superficie-superficie(STS): L'algoritmo superficie-superficie stabilisce contatto quando la superficie di un corpo penetra nell'altra. Consente grandi deformazioni, nessuna restrizione sulla geometria delle aree in contatto e funziona molto bene con relativamente grandi aree di contatto. Richiede la definizione dei componenti nodali e parti per stabilire superfici di contatto e obiettivo. E' molto efficiente corpi scorrevoli relativi sentono come un blocco che scivola per il suolo.

- Opzione di contacto

Contatto Automatico: il programma esegue automaticamente l'orientamento della superficie a contattare, recensioni e valuta entrambi i lati, dell' elementi shell. Permette contatto tra corpi rigidi e deformabili.

- contacto controstampo-lamina

- Tipo de contacto

Contatto Nodo-superficie (NTS): Il contatto nodo-superficie avviene quando un nodo della superficie di contatto di un corpo modello (Superficie di contacto) penetra la superficie del bersaglio (Target di superficie) di un altro. Allora c'è bisogno di sapere in anticipo e definire queste superfici. Viene utilizzato nei processi che producono grandi deformazioni, frane e diversi tipi di rete tra gli elementi a analizzare.

Considerazioni all'ora di definire le superfici:

- le superfici piana o cóncava saranno le superfici bersaglio (target surface) e quale convessa saranno le superfici contacto (contact surface)
- le superfici di mesh non rafinato saranno quale bersaglio e l'altre saranno le superfici di contacto.

- Opzioni di contatto

Contatto Automatico

C.5.8 Carichi

In programmi come ANSYS il concetto di carica non è limitato agli forze, pressioni e momenti che possono essere applicati su un corpo. In realtà, è un concetto ampio che include inoltre di quelli tre già citati: spostamenti, rotazioni, velocità e accelerazioni applicati a un elemento dell'insieme.

▪ Spostamenti

Come è spiegato sopra, l'elemento di stampo ha carichi di spostamento qui sono responsabili della deformazione della lamina. L'offset dipende dalla dimensione dello stampo.

A differenza di analisi impliciti negli analisi espliciti tutti i carichi devono essere dipendenti dal tempo. Per questo motivo, tutti i carichi in ANSYS LS-DYNA vengono applicate utilizzando parametri vettoriali, uno per il tempo ed un altro per la carica. Inoltre, una curva può essere utilizzato come dato di ingresso del carico. I vettori possono essere definiti più precisamente, introducendo un maggior numero di ingressi. Ma se non avete bisogno di molto di precisione in grado di creare vettore con un minor numero di voci, sapendo che il programma interpolare i dati necessari per la simulazione.

Definizione degli array parameters

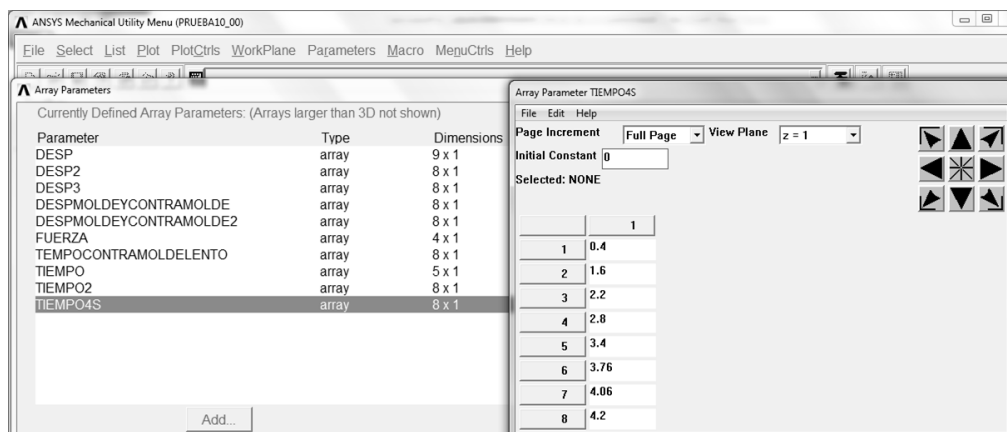


Figura38. Foto del set di vettri che definiscono gli spostamenti e carichi

È importante ricordare che i carichi sono state applicati solo sui partiti, non

componenti, perché in questo caso vengono applicate ai corpi rigidi. Solo si deve applicare un tipo di carica: Displacement (RBUZ) nella direzione Z, poiché è il movimento dello stampo, il quale realizza la curvatura delle lamine.

L'immagine seguente mostra l'applicazione di carichi.

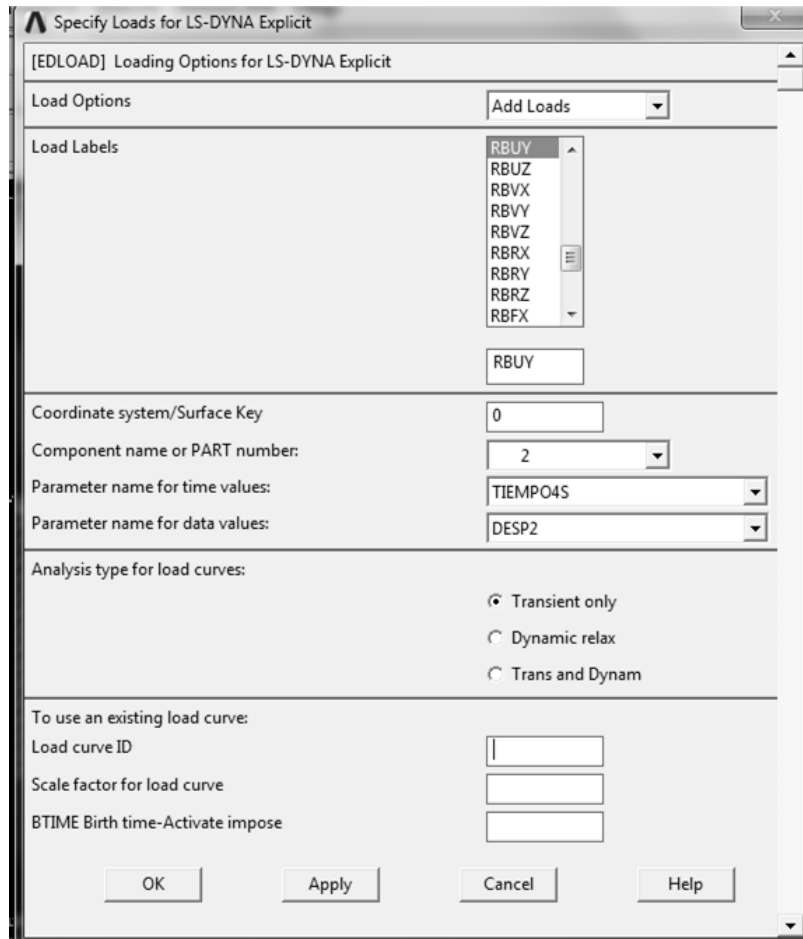
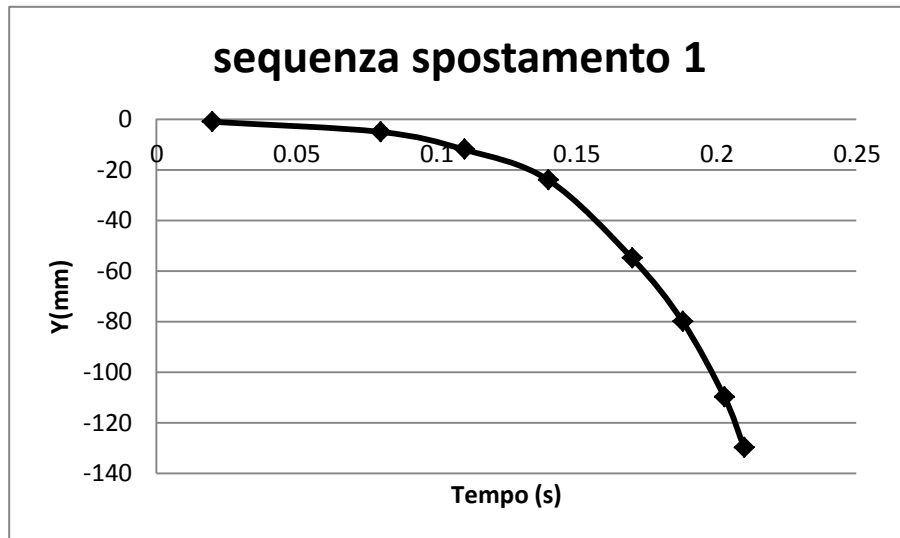


Figura39. Applicazione dei carichi

Hanno progettato tre diverse sequenze di movimento per tempi diversi di curvato di legno e scegliere quello processo esplicito che più si assomiglia al processo di piegatura eseguita in laboratorio e spiegato nel BLOCCO A.

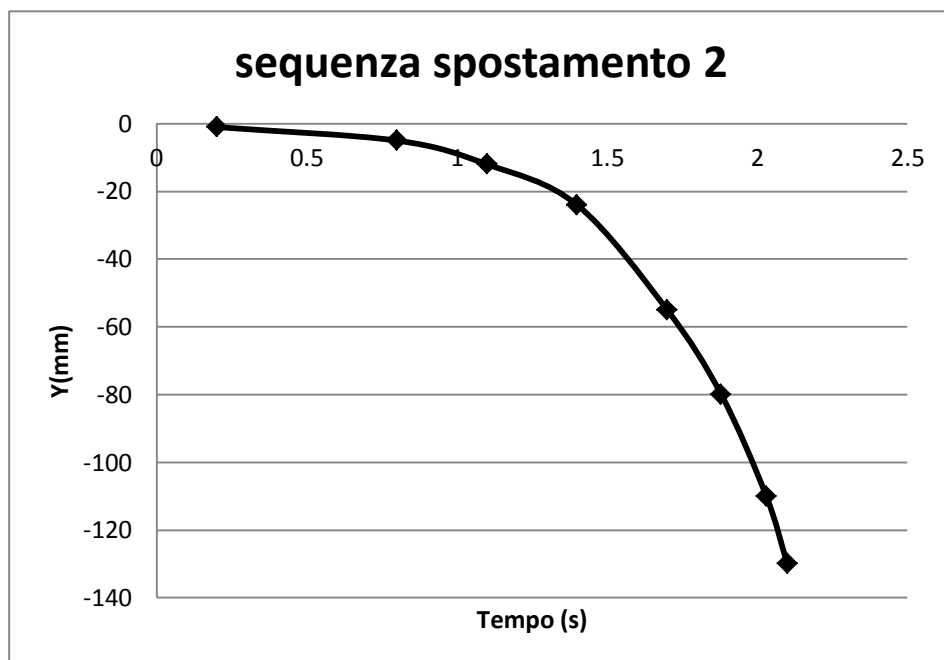
A seguito di spiegano i spostamenti.

- Spostamenti 1: tempo totale di processo di curvato 0.21s.



Il tempo totale di processo di piegatura è 0.21s. Studiando i risultati si vedono che le sforzi vengono introdotti nel foglio causa dell'impatto dell'utensile nel foglio, cosa che non avviene nel modello reale. Questo processo sarebbe più adatto per processi di formatura della lamiera di acciaio. Concludo che questo spostamento non è rappresentativo del modello reale.

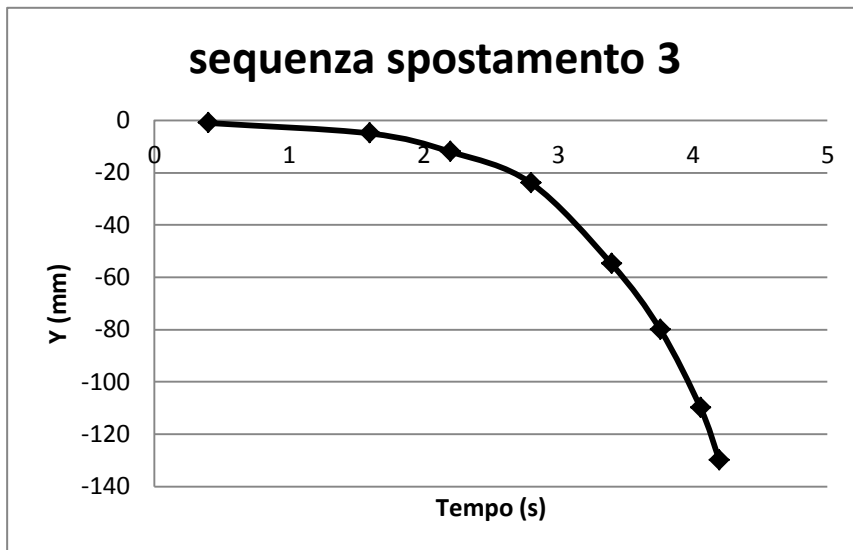
- Spostamento 2: tempo totale del processo di piegato 2.1s



Il tempo totale di processo di piegatura è 2.1s. Studiando i risultati si vedono che le sforzi quasi vengono introdotti nel foglio causa dell'impatto dell'utensile nel foglio, ma il processo reale sarebbe maggiore. Questo processo sarebbe più adatto per processi di formatura della lamiera di acciaio. Concludo che questo spostamento è rappresentativo del modello reale, ma non sarà il processo scelto per eseguire le prove

sul ANSYS

- Sequenza spostamento 3



Il tempo totale di processo di piegatura è 4.2s. Studiando i risultati si vedono che non si sono introdotti sforzi nel foglio causa dell'impatto dell'utensile nel foglio. Rappresenta il tempo di curvato più meno corretto.

Si ha scelto questa sequenza di spostamento in tutte le prove que si faranno con il programma ANYS.

C.5.9 Soluzione

Una volta che siano stati definiti tutti i parametri della fase, solo manca risolvere la fase

o ANSYS Main Menu > Solution > Solve

C.5.10 Risultati

Sono stati ottenuti risultati di :

- La deformazione sofferta per il elemento lamina, si controlla che il processo di curvato è stato il corretto.

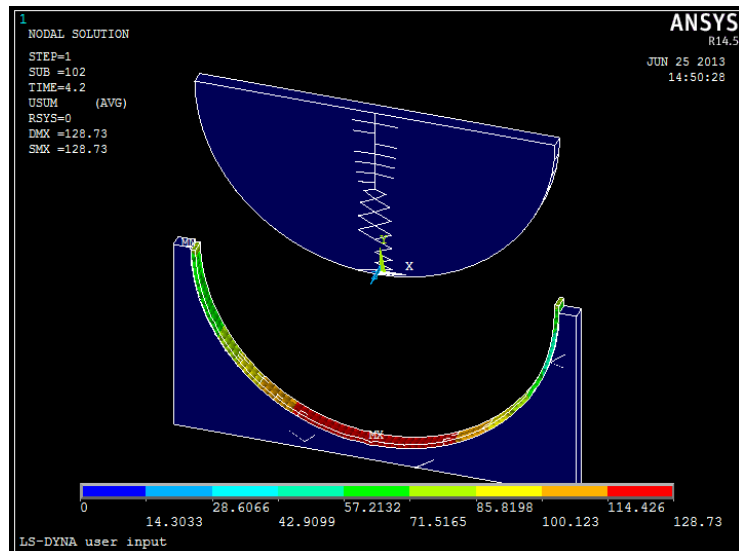


Figura40. Deformazione mássima del modello

Come si vede visto nell'immagine la deformazione della lamina è coerente con la realtà, non ci sono giri nemmeno fratture.

- La tensione massima del modello lamina, si controlla se si supera o no la tensione di snervamento del materiale, si controlla che non sia superato il limite da frattura del materiale

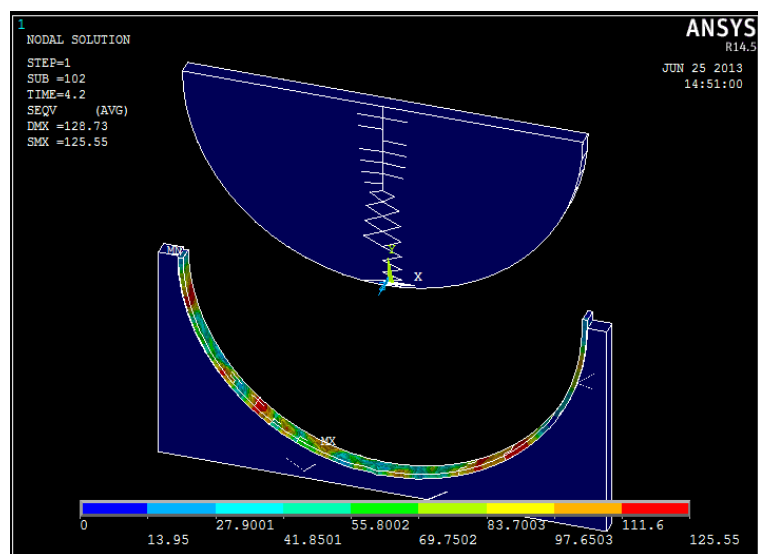


Figura41. Tensione massima del elemento lamina

Como si vede nell'immagine il sforzo massimo che è soggetto alla lamina è di 125.5 Mpa, essendo la tensione di snervamento di 125Mpa e il suo limite a frattura e di 130 Mpa. Pertanto si produce plastificazione ma non frattura-

- Si controlla che l'allungamento sofferto per il materiale sia coerente con la realtà. L'allungamento massimo non deve essere più di 0.05.

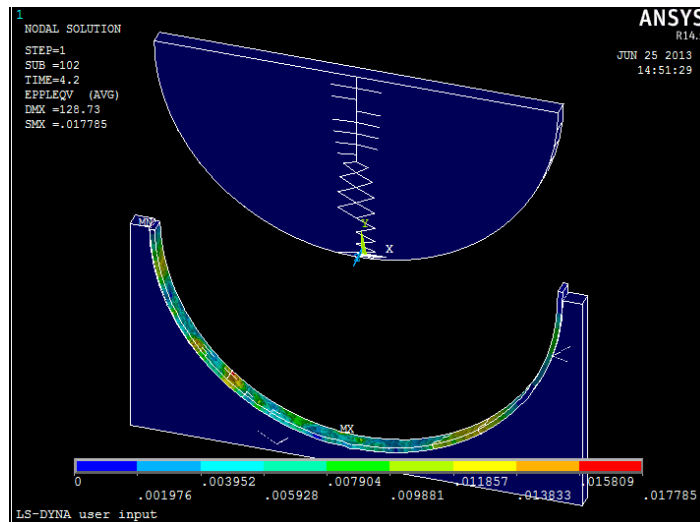


Figura42. allungamento massimo della lamina

Si vede nell'immagine che la allungamento massimo del elemento lamina è di 0.177 ben al di sotto dell'allungamento ultimo di 0.05

C.6 PROCESSO IMPLICITO

L'analisi implicito viene effettuato per lo studio per il ritorno elastico del foglio o dei fogli di legno. In questo studio, a differenza del studio esplicito precedente si prende in considerazione l'effetto della colla o resina, poiché è fondamentale in questa fase. Anche si fanno ipotesi per ottenere una corretta convergenza del modello implicito.

C.6.1 Ipotesi di partenza del processo implicito

- Restrizioni sui nodi. È l'assunzione più importante in questo processo. Per la corretta convergenza del modello implicito di restrizioni devono essere imposte su alcuni nodi.
Si cerca il giusto equilibrio tra convergenza e la non introduzione di tensione fittizie le quale possono modificare il comportamento effettivo di legno nel processo di recupero elastico. Per questo si fanno test per quantificare la differenza di "spring back" ottenuto nella stessa pattern con alcune altre restrizioni.
- Comportamento ortotropico del legno. Quella è la principale differenza tra il legno e altre materiali comunemente formate, come l'acciaio
- Comportamento isotropo della colla o resina. Lo spessore della pellicola di resina è considerato di 0.05mm
- Diversa orientazione delle fibre delle lamine. Si Studierà l'influenza dell'orientamento delle lamine sul lo sprinback.
- Lo springback dovuto a giri intorno all'asse Y non si prendono in considerazione.

- Il processo di recupero elastico del legno viene considerato improvviso

C.6.2 Risolvere o caricare l'analisi esplicito.

In primo luogo è necessario eseguire la soluzione esplicita dell'analisi, è da questi dati si simula il processo implicito .

C.6.3 Conversione dei tipi di elementi

Come si ha spiegato nella sezione "processo esplicito-implicito Limitazioni" gli elementi utilizzati nell'analisi esplicito non possono essere utilizzati per l'analisi implicito. Quasi tutti elementi espliciti hanno un corrispondente elemento di analisi implicito. Así elementi Thin Shell 163 espliciti diventano elementi impliciti Shell181

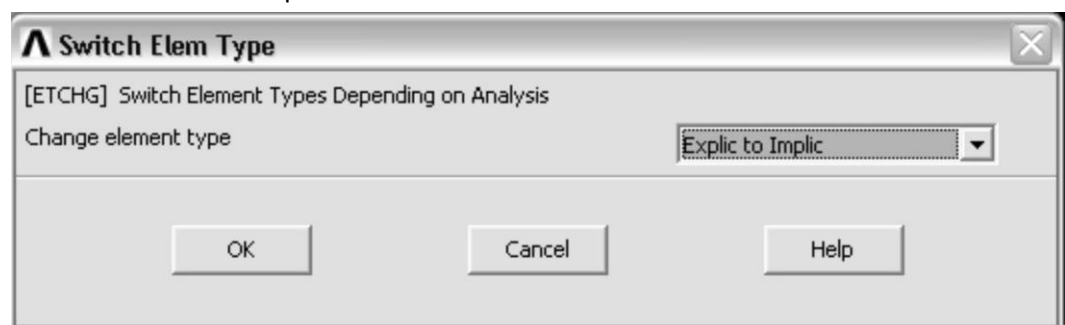


Figura43. Conversione di elementi espliciti a impliciti

C.6.4 Definire il modello di materiale

Per l'analisi implicito della recupero elastica si definiscono due modelli di materiale, uno per le lamine e l'altro per la colla o resina

- Lamine. Come è stato spiegato prima il legno è un materiale ortotropo. I parametri che si definiscono nell' ANSYS per ottenere il comportamento ortotropo sono:

MODELLO	DESCRIZIONE	VALORE
DENS	Densità [Kg/mm ²]	7.5E-7
E _x	Módulo elástico X [MPa]	13700
E _y	Módulo elástico Y [MPa]	2240
E _z	Módulo elástico Z [MPa]	1140
NUXY	Coefficiente di Poisson	0.073
NUYZ	Coefficiente di Poisson	0.36
NUXZ	Coefficiente ie Poisson	0.044
GXY	Modulo transversale [MPa]	1610
GYZ	Modulo transversale [MPa]	460
GXZ	Modulo transversale [MPa]	1060

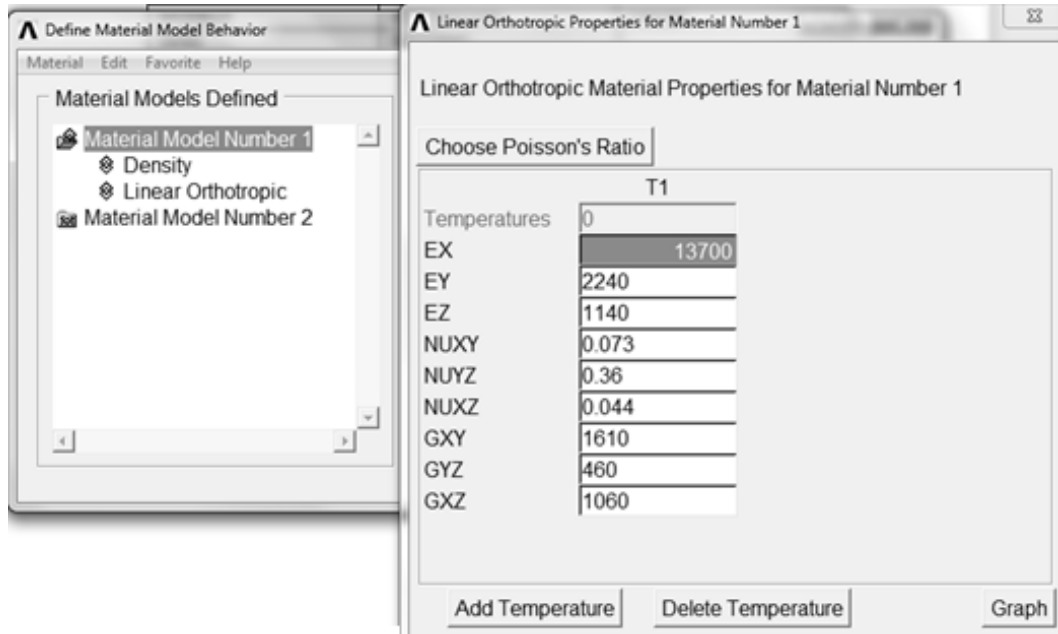


Figura44. Introduzioni di parametri di matrice ortotropo (legno)

- Colla o resina. Si suppone un comportamento isotropo della colla, come già è stato spiegato nell'ipotesi di partenza.
si ha fatto un studio di ricerca dei valori della colla per legno e i dati ottenuti sono i seguenti:

DATI	DESCRIZIONE	VALORE
DENS	Densità [Kg/mm ²]	9.45e-7
E _x	Modulo di elasticità	1250
PRXY	Coefficiente de Poisson	0.25

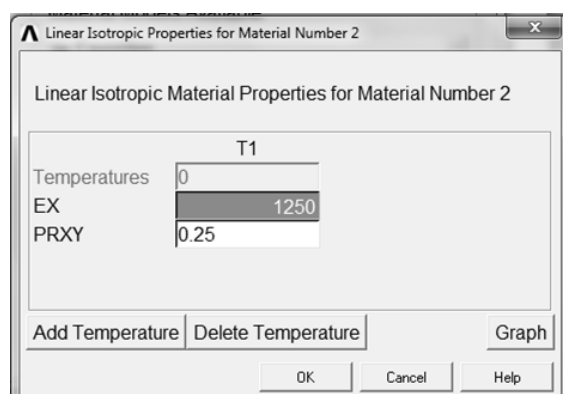


Figura45. Introduzione dei dati di materiale isotropo

C.6.5 Caricare processo esplicito geometria e rimuovere le parti non necessarie.

La geometria viene importata del processo esplicito in modo da avere la geometria finale del processo esplicito e importare le tensioni che producono il recupero elastico in quella geometria .

Durante il processo implicito l'unica geometria di interesse è il foglio. Sia lo stampo che il controstampo sono inutili, quindi viene prima rimosso il mesh e poi la geometria.

C.6.6 l'imposizione di restrizioni

Il corpo di studio non ha nessuna restrizioni, cioè ha i suoi sei gradi di libertà globali, se si corre la simulazione così, la lamina si muoverebbe senza ottenere nessun risultato utile. Anche il programma non raggiunge una soluzione, cioè risolvendo il metodo implicito non converge il programma. C'è bisogno di mettere restrizioni a convergere la soluzione e che le lamine non si produca la traslazione libera dell'oggetto.

Con lo scopo di introdurre il minor numero di restrizioni sono condotte diverse prove con più o meno restrizioni sulla lamella e confrontati i dati ottenuti sul lo springback. Le prove al riguardo sono riportate nella sezione C.8.

C.6.8 Sezione delle lamine

Poi si fa il laminato. Questo processo converte il singolo foglio importato del processo precedente in una serie di fogli di legno e colla.

Lo spessore di ogni lamina di legno è 0,6 millimetri.

Lo spessore di ciascuno strato di colla è 0,05 millimetri.

La disposizione degli strati di legno dipende dall'obiettivo del test. In più saranno disposti in angoli di 90 gradi, ma varierà la direzione di laminazione al fine di vedere la sua influenza sul lo springback.

L'immagine seguente mostra una sezione laminata di 5 fogli in legno e 4 di colla .

L'orientamento degli strati di legno è un'alternativa, iniziando e terminando nella direzione longitudinale di piegatura.

In verde sono rappresentate pale in legno e lame di colla viola.

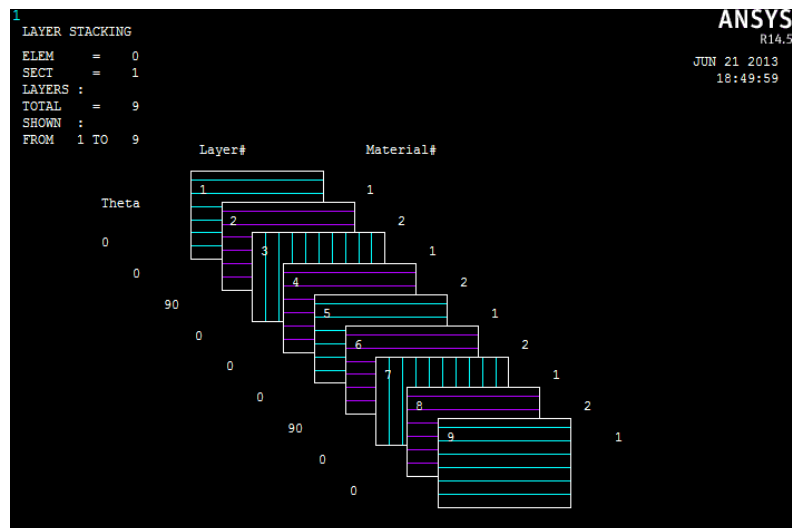


Figura46. Sezione della serie laminata di 5 lamine

C.6.9 Importazione di tensioni

le tensioni prodotte nell'analisi esplicito durante il processo di deformazione delle lamine sono l'unica nell'analisi implicito. Devono essere importate all'analisi implicito. Sono importati le tensioni dall'ultimo step.

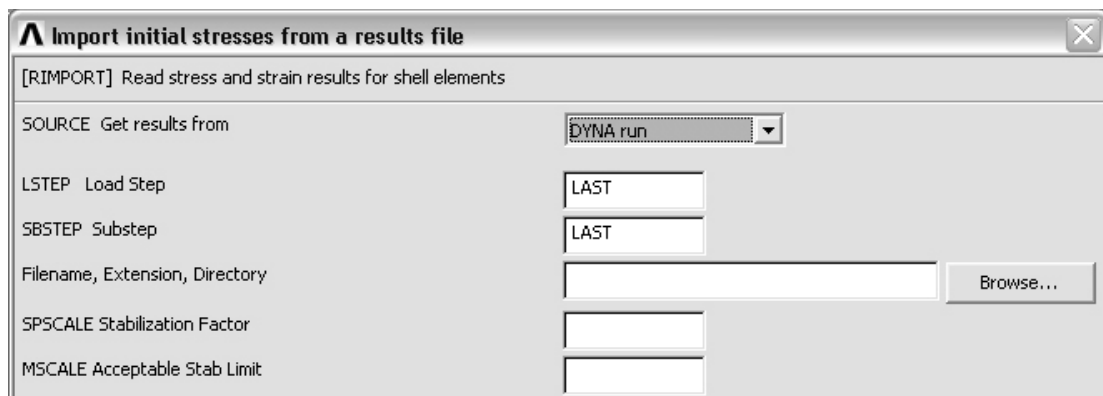


Figura 47. Importazione tensione

C.6.10 Soluzione

Ora si fa il calcolo della soluzione. La soluzione di un'analisi implicito è, tipicamente, più breve che quella di un'analisi esplicito, poiché solo si esamina uno stato di equilibrio e non qui che si verificano nel tempo. L'analisi implicito deve raggiungere la convergenza, cioè i rifiuti (variazione tra iterazioni) generati nella soluzione deve essere più piccole rispetto al criterio di convergenza che indica il programma. L'avanzamento del rifiuto è presentato in un grafico come quello mostrato nell'immagine. Se i criteri di F e M L2 valore L2 giù 10-1. Questi criteri di convergenza valutano la radice quadrata della somma della forza e momento dei saldi in ogni livello di classe

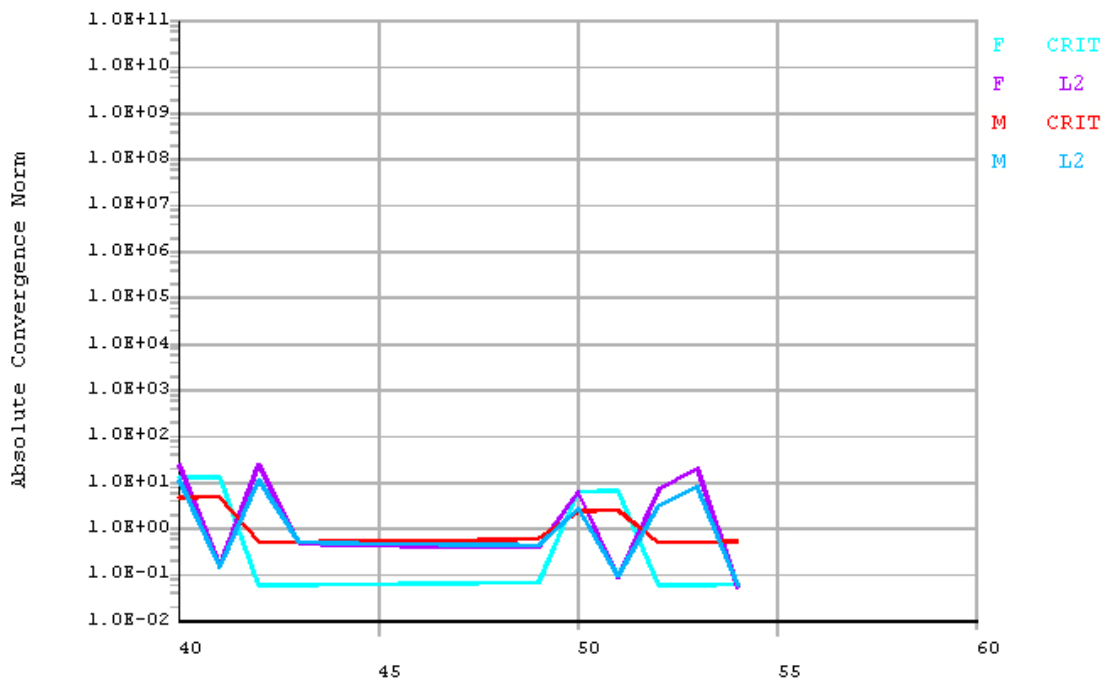


Figura48. Cumulative iteration number

C.6.11 Risultati

Sono ottenuti dati di:

- Deformazione ottenuta nell'elemento lamina dovuto allo springback o recupero elastico. Convalidare che è possibile deformazione
- Confronto del raggio di curvatura iniziale e finale
- Calcolo dello springback delle lamine e dell'angolo iniziale e finale.

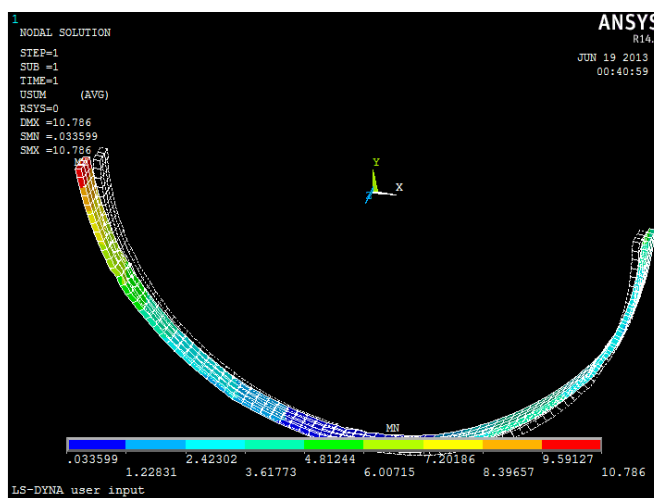


Figura49. Deformazione delle lamine dovuto allo springback

C.7 PROVE E RISULTATI

Come discusso in precedenza, l'obiettivo di questo studio con il software ANSYS è quello di creare un modello virtuale di confermare, difendere o sostenere ai dati dello sprinback ottenuti sia dalla formula teorica dell'Istituto d'Inghilterra che per le prove reali fatte in laboratorio. Per questo dovrebbero essere studiati vari parametri che influiscono intuitivamente misura maggiore o minore nel recupero elastico del legno.

I parametri studiati sono i seguenti:

- N° di lamine
- Orientazione delle lamine
- Raggio di curvatura delle lamine
- Tempo di curvatura del processo implicito. (già analizzato nella sezione C.5.8 carichi)
- Le restrizioni imposte all' elemento lamina nell'analisi implicito.
- Influenza della tensione di snervamento del legno nello springback

Ogni blocco di prove sarà presentato come segue:

Metodologia di test: spiegazione degli obiettivi, la metodologia dei test, il numero di prove, ecc.

1. Metodologia di test: spiegazione degli obiettivi, la metodologia dei test, il numero di prove, ecc.
2. Foglio esplicita-implicita di ciascuna prova. Esso si definisce:
 - tipo di processo, l'identificazione di prova, caratteristiche di ogni elemento, il numero di fogli, dimensioni, vincoli, l'orientamento, la massima tensione.
 - elenco risultati, dove si definisce la tensione, posizione dei nodi e spostamento di recupero elastico o springback.
 - Grafico di springback
 - Calcolo di springback y del angolo finale di curvatura
3. Studio e discussione dei risultati con i dati ottenuti nel BLOCCO A.

C.8 BLOCCO DI PROVE 0: RESTRIZIONI NELLA LAMINA ANALISI

Come è spiegato sopra per una corretta analisi implicito è necessario una convergenza del metodo implicito. Per una corretta convergenza si pongano limiti a elemento lamina.

D'altra parte se il modello non ha limitazioni, all'ora di verificarsi il ritorno elastico del legno, il legno si muove e ruota liberamente, senza essere possibile quantificare il ritorno elastico. È necessario immettere il giusto numero di restrizioni per evitare l'introduzione di tensioni ireali nel modello.

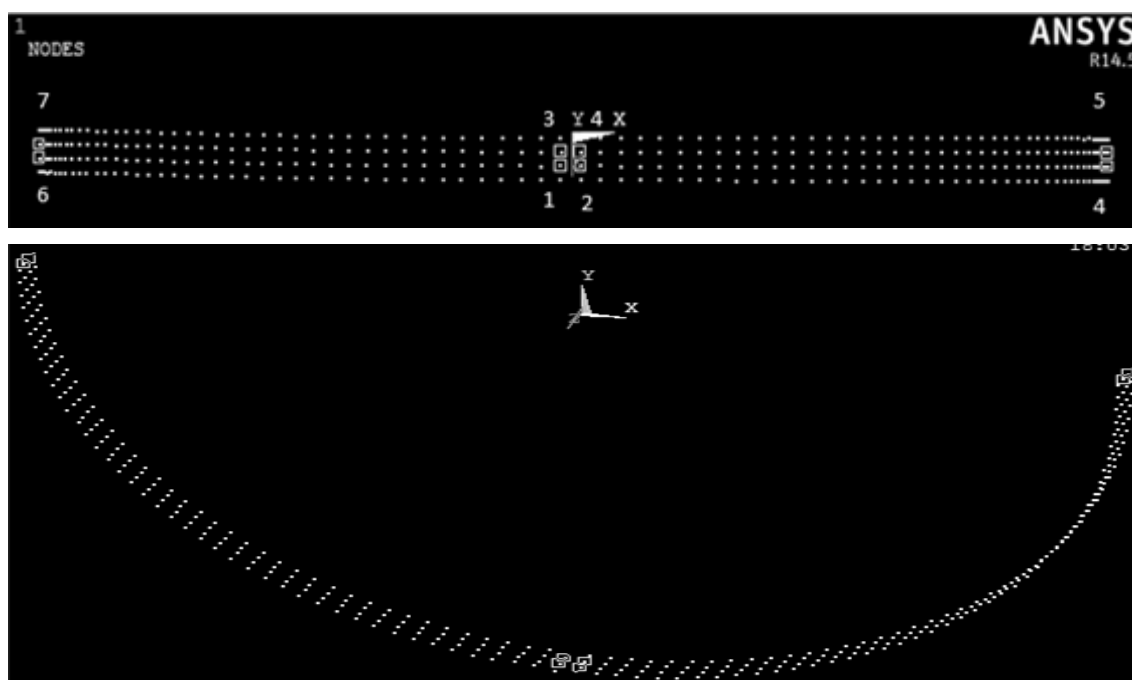
C.8.1 Obiettivi

- Raggiungere una corretta convergenza del modello implicito.
- Determinare l'influenza delle restrizioni imposte sul foglio sul ritorno elastico
- Raggiungere un bilanciare tra le restrizioni e una corretta convergenza

C.8.2 Metodología de las pruebas

Si fa una prova in modo esplicito, dal momento che il test viene eseguito si fanno 5 prove con diverse limitazioni implicite nell'elemento lamina. Le seguenti sono le prove e i gradi di libertà

NOME DELLA PROVA	ANALISI	RESTRIZIONI	DENOMINAZIONE
PROVA10_00	ESPLICITO	NESSUNA	
PROVA10_00IMP1	IMPLICITO	NESSUNA	A
PROVA10_00IMP4	IMPLICITO	Nodo 1,2,3,4 restrizione X	B
PROVA10_00IMP5	IMPLICITO	Nodo 1,2,3,4 restrizioni X,Y	C
PROVA10_00IMP6	IMPLICITO	Nodo 1,2,3,4 restrizioni X,Y,Z	D
PROVA10_00IMP7	IMPLICITO	Nodo 1,2,3,4 restrizioni X,Y,Z Nodo 4,5,6,7 restrizioni Z	E



C.8.3 Prove Blocco 0

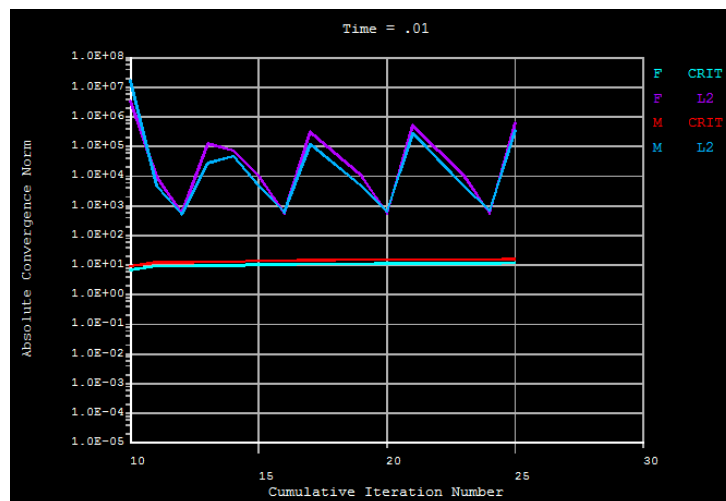
ANALISI	PROVA	PROVA DI ORIGINE	CONVERGENZA	Nº LAMINE	ORIENTAZIONE LAMINE
IMPLICITO	P10_00IMP1	P10_00	NO	5	0-90-0-90-0

RESTRIZIONI LAMINE: NESSUNA

Osservazioni processo di recupero elastico secondo ANSYS: nessuna convergenza si verifica nel modello implicito. Nessun recupero elastico si verifica in legno correttamente, la lamina finale ottenuta è amorfa e non ha nulla a che vedere con il modello iniziale.

Dovrebbero essere introdotte le restrizioni.

Di seguito è riportato un quadro del processo di convergenza e di altro modello implicito del foglio dopo ritorno elastico.



Sequenza di convergenza processo implicito

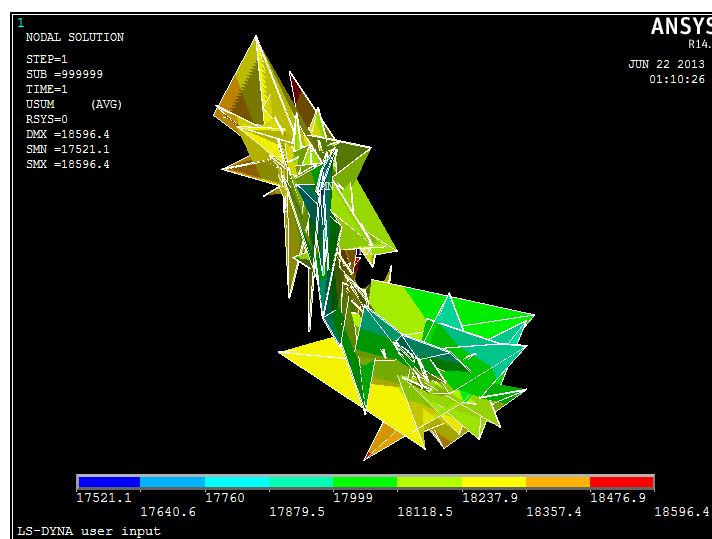


immagine della lamina dopo il processo di springback

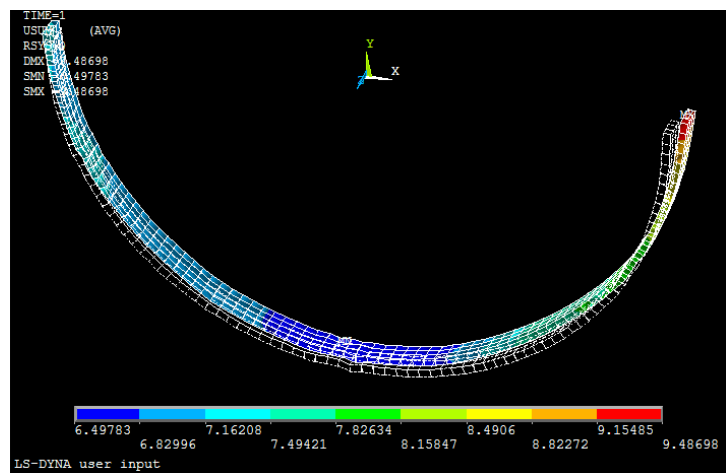
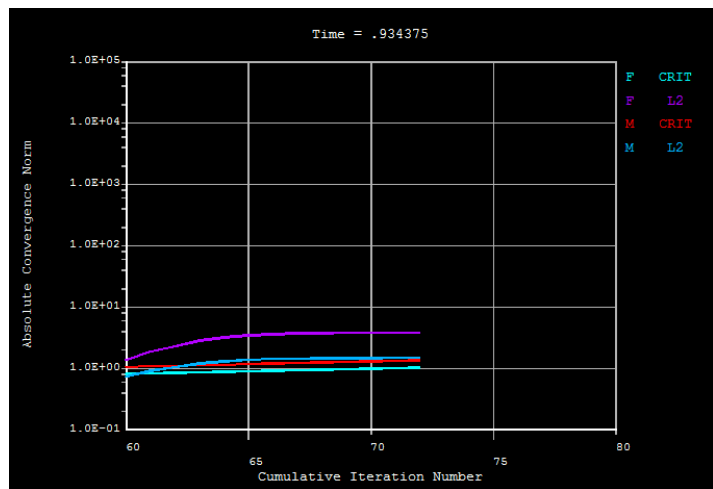
ANALISI	PROVA	PROVA DI ORIGINE	CONVERGENZA	Nº LAMINE	ORIENTAZIONE LAMINE
IMPLICITO	P10_00IMP4	P10_00	NO	5	0-90-0-90-0

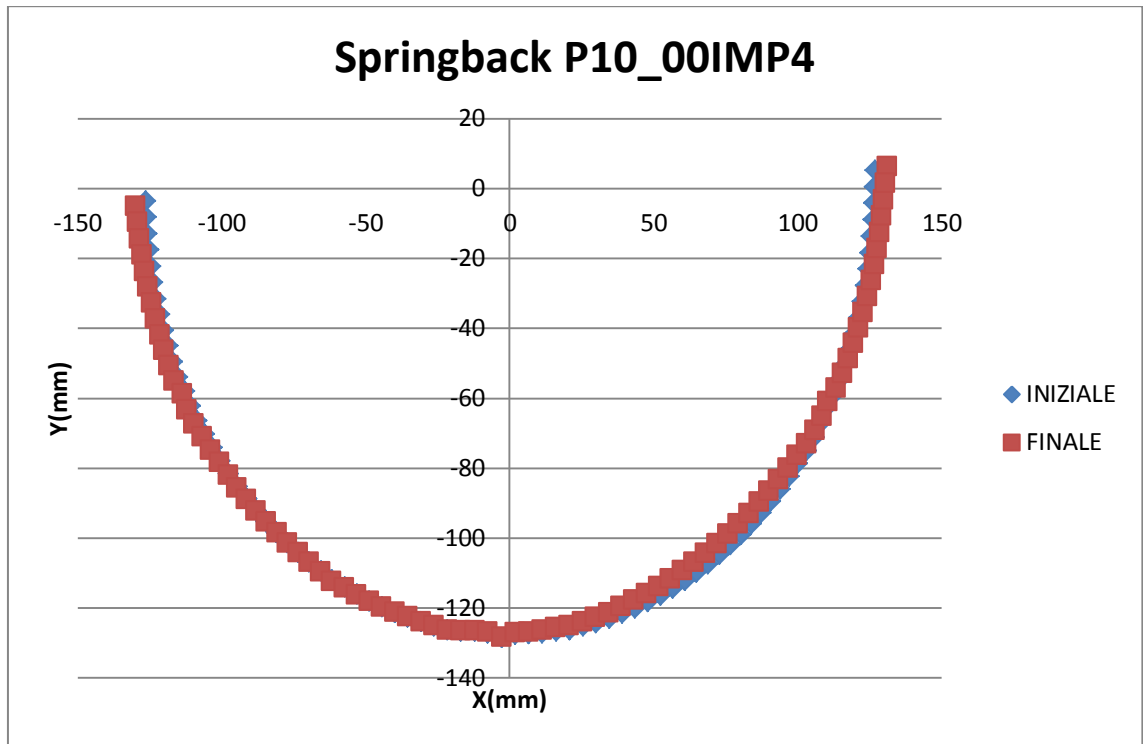
RESTRIZIONI NODI			REAZIONI NODI	
NODE	LABEL	REALE	NODE	FX
18333	UX	0	18333	-11,948
18334	UX	0	18334	24,602
18335	UX	0	18335	22,652
18336	UX	0	18336	-21,437
			TOTAL VALUE	13,869

Osservazioni processo di recupero elastico secondo ANSYS: nessuna convergenza si verifica nel modello implicito. ANSYS non arriva alla soluzione. Si verifica una deformazione nella geometria della lamina dovuto allo springback.

Nel modello avviene la traslazione nell'asse Z circa 7 mm. Processo dello springback è corretto, nessuna deformazione avviene intorno all'asse Y.

Immagini della convergenza e del modello dopo lo springback





Calcolo dello SpringBack:

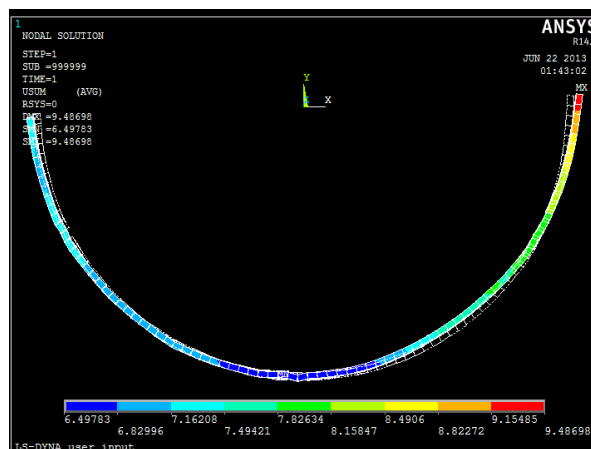
$(\text{Raggio finale} - \text{Raggio iniziale}) / \text{Raggio iniziale}$

$(\text{diametro finale} - \text{diametro iniziale}) / \text{diametro iniziale} = (130.69$

$-126.76) / 126.76 = 3.1\%$

Angoli con la orizzontale:

	SINISTRA	DESTRA
ANGOLO INIZIALE	86.8°	84.7°
ANGOLO FINALE	81.6°	82.2°



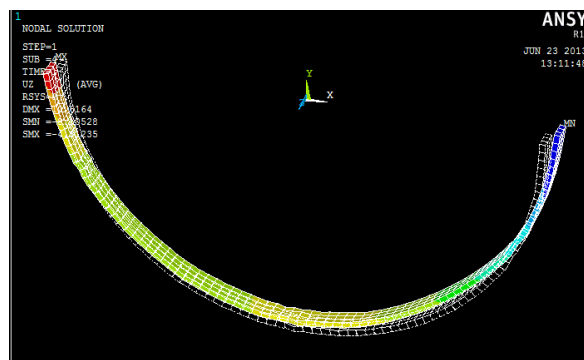
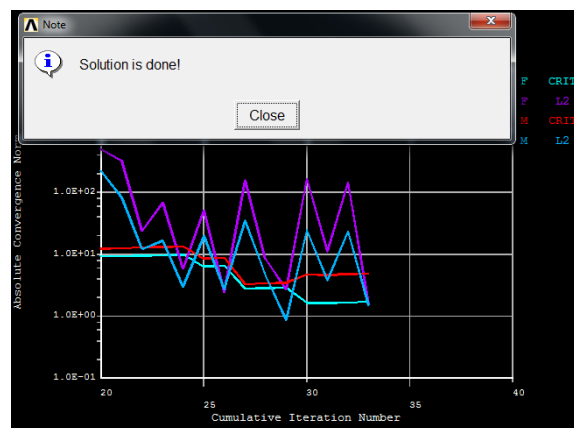
ANALISI	PROVA	PROVA DI ORIGINE	CONVERGENZA	Nº LAMINE	ORIENTAZIONE LAMINE
IMPLICITO	P10_00IMP5	P10_00	SI	5	0-90-0-90-0

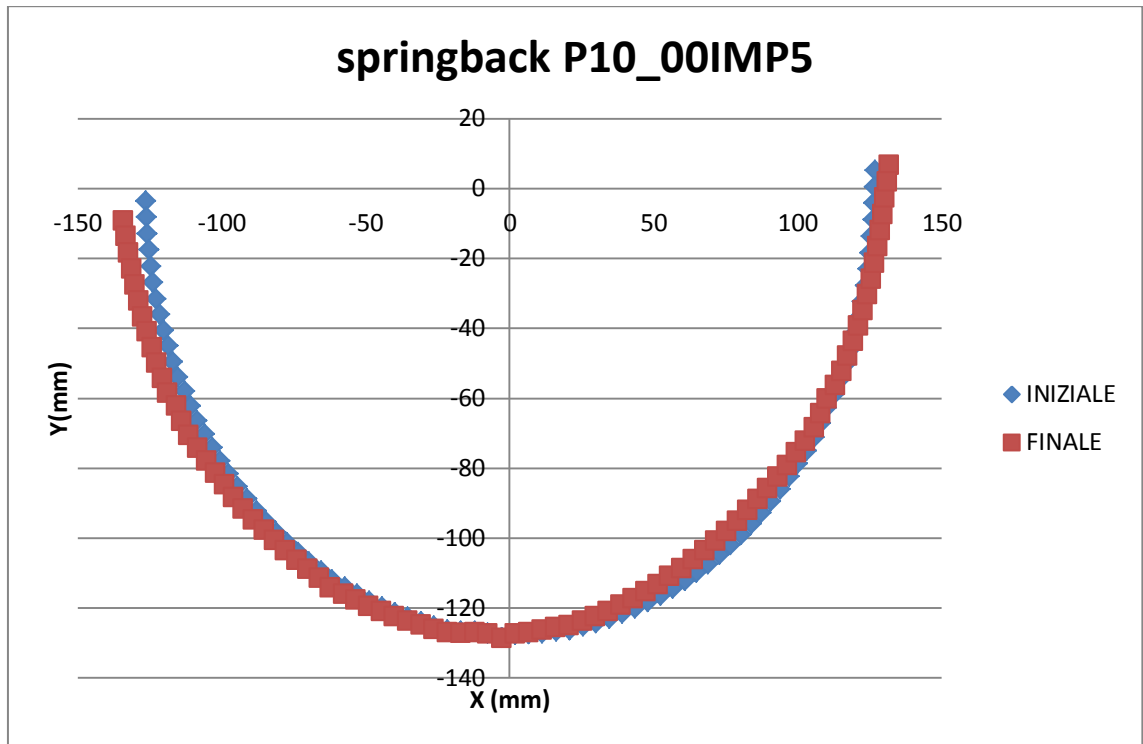
RESTRIZIONI NODI			REAZIONI NODI	
NODE	LABEL	REALe	NODE	FX
18333	UX	0	18333	-11,948
18334	UX	0	18334	24,602
18335	UX	0	18335	22,652
18336	UX	0	18336	-21,437
			TOTAL VALUE	13,869

Osservazioni processo di recupero elastico secondo ANSYS: si verifica la convergenza nel modello implicito. ANSYS arriva alla soluzione. Questo è un migliora rispetto a tutte prove che ho fatto prima. Si verifica una deformazione nella geometria della lamina dovuto allo springback.

Nel modello avviene la traslazione nell'asse Z circa 4 mm. Processo dello springback è corretto, qualche deformazione avviene intorno all'asse Y ma non forte

Immagini della convergenza e del modello dopo lo springback



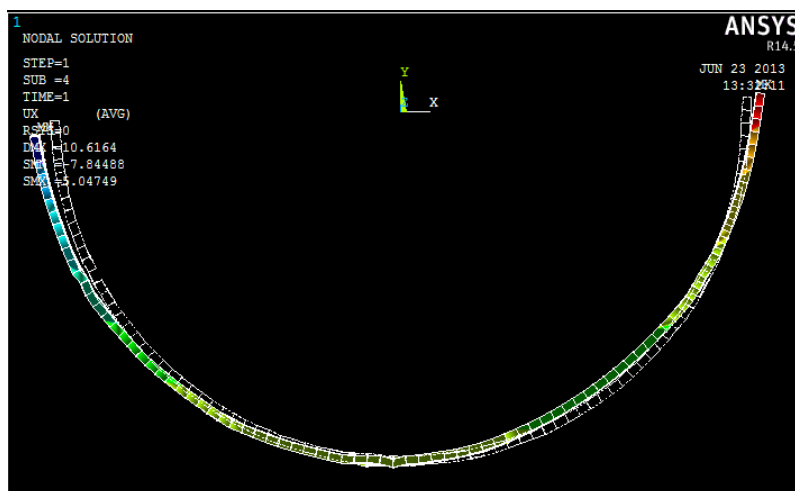


Calcolo dello SpringBack:

$(\text{Raggio finale} - \text{Raggio iniziale}) / \text{Raggio iniziale}$

$(\text{diametro finale} - \text{diametro iniziale}) / \text{diametro iniziale} = (133.4 - 126.76) / 126.76 = 5.23824\%$

	SINISTRA	DESTRA
ANGOLO INIZIALE	86.8°	84.7°
ANGOLO FINALE	79.14°	81.3°

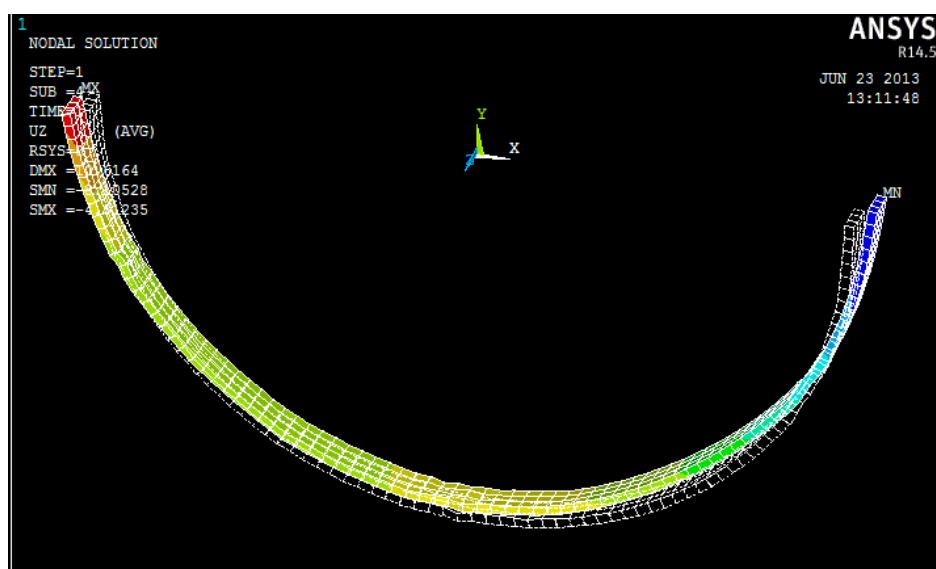


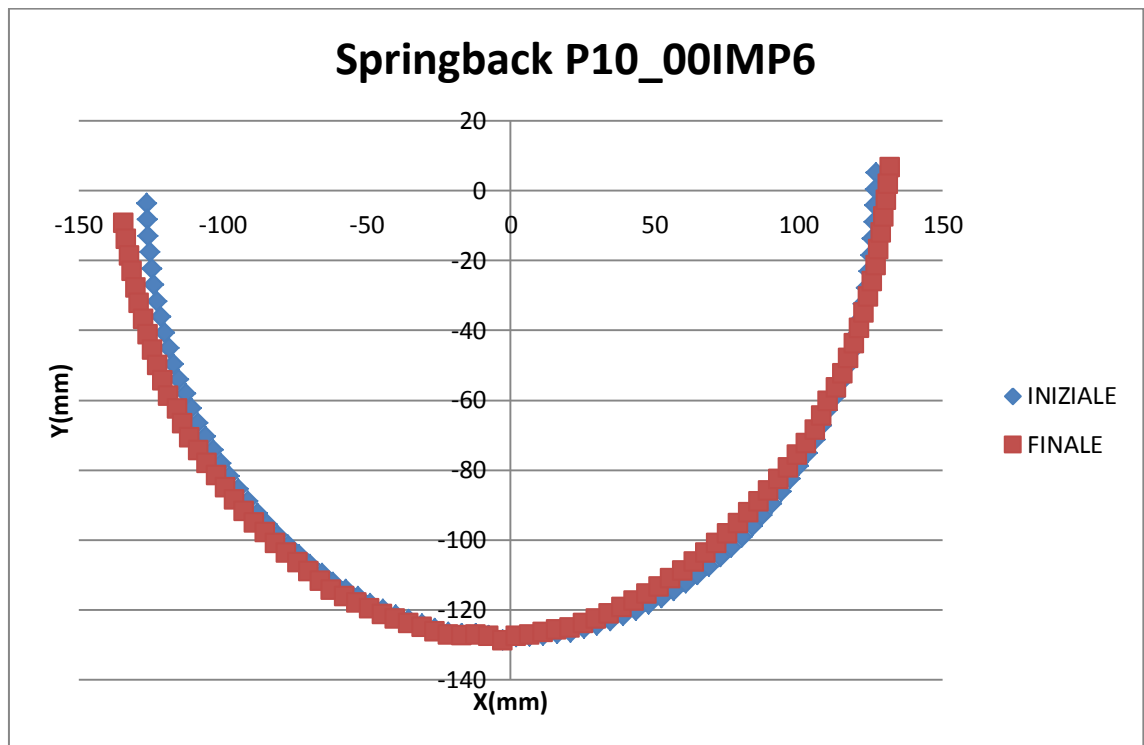
ANALISI	PROVA	PROVA DI ORIGINE	CONVERGENZA	Nº LAMINE	ORIENTAZIONE LAMINE
IMPLICITO	P10_00IMP6	P10_00	SI	5	0-90-0-90-0

RESTRIZIONI NODI			REAZIONI NODI			
NODE	LABEL	REALe	NODE	FX	FY	FZ
18333	UX,UY,UZ	0	18333	124.38	-43.168	5.9604
18334	UX,UY,UZ	0	18334	175.86	7.8089	0.49241
18335	UX,UY,UZ	0	18335	-130.76	43.491	-13.04
18336	UX,UY,UZ	0	18336	-169.5	-8.12	6.5789
			TOTAL VALOR	-1.91E-02	1.27E-02	-8.72E-03

Osservazioni processo di recupero elastico secondo ANSYS: si verifica la convergenza nel modello implicito. ANSYS arriva alla soluzione. Si verifica una deformazione nella geometria della lamina dovuto allo springback.

Nel modello non avviene la traslazione nell'asse Z, questo è un miglioramento rispetto a tutte le prove che ho fatto prima. Il processo dello springback è corretto, qualche deformazione avviene intorno all'asse Y ma non forte.





Calcolo dello SpringBack:

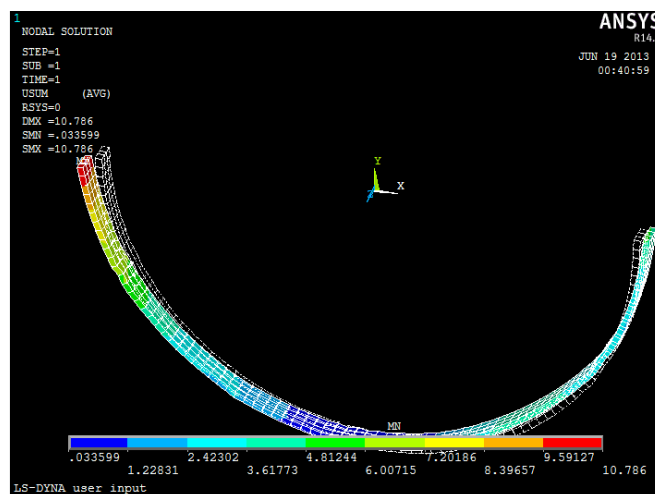
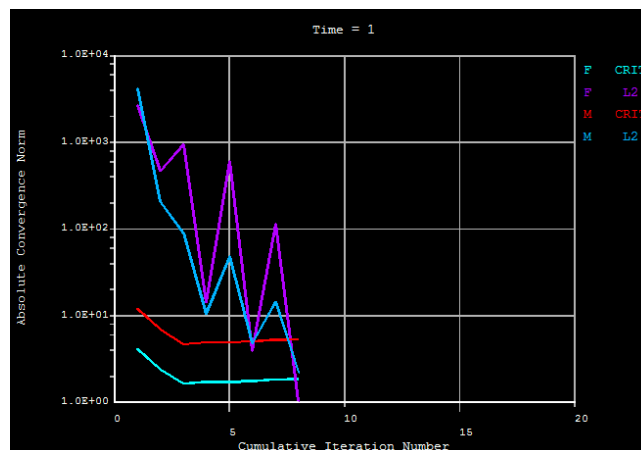
$(\text{Raggio finale} - \text{Raggio iniziale}) / \text{Raggio iniziale}$

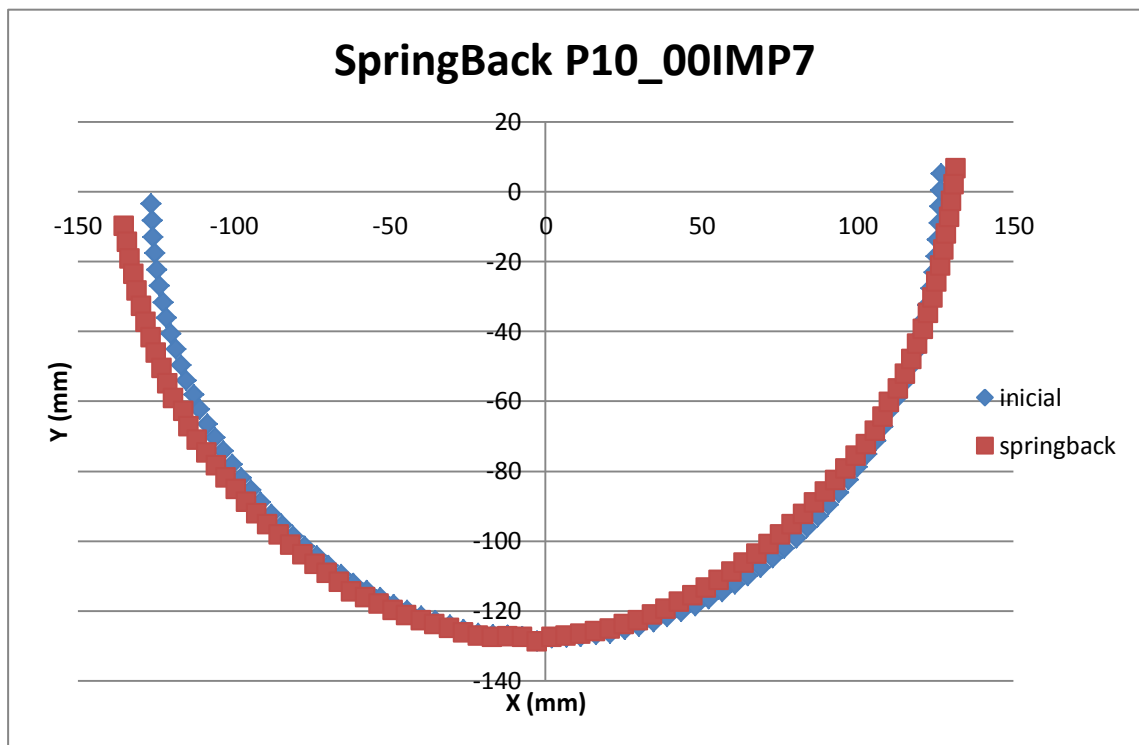
$(\text{diametro finale} - \text{diametro iniziale}) / \text{diametro iniziale} = (133.48 - 126.76) / 126.76 = 5.301\%$

	SINISTRA	DESTRA
ANGOLO INIZIALE	86.8°	84.7°
ANGOLO FINALE	79°	81.15°

Restricciones chapa			Reacciones chapa			
NODE	LABEL	REAL	NODE	FX	FY	FZ
18164	UZ	0	18164			1,44E-02
18165	UZ	0	18165			0,35774
18251	UZ	0	18251			-9,2356
18252	UZ	0	18252			9,1236
18333	UX,UY,UZ	0	18333	131,02	-40,104	9,4351
18334	UX,UY,UZ	0	18334	168,97	9,5499	11,831
18335	UX,UY,UZ	0	18335	-130,25	50,569	-20,046
18336	UX,UY,UZ	0	18336	-169,74	-20,123	-1,4972
TOTAL VALUE				-0,0097614	-0,10854	0,0017059

Osservazioni processo di recupero elastico secondo ANSYS: no avviene il giro intorno all'asse Y. questo è un migliora rispetto a tutte prove che ho fatto prima. Si verifica la convergenza nel modello implicito. La figura de springback es posible. Nel modello non avviene la traslazione nell'asse Z





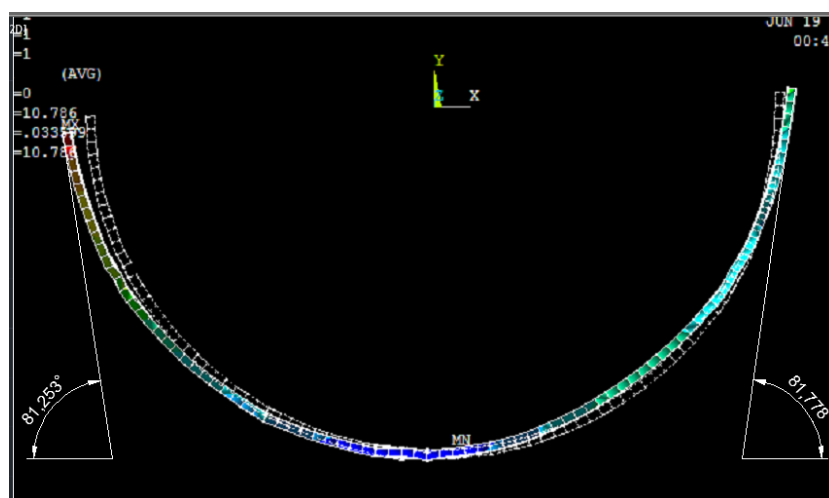
Calcolo dello SpringBack:

$(\text{Raggio finale} - \text{Raggio iniziale}) / \text{Raggio iniziale}$

$(\text{diametro finale} - \text{diametro iniziale}) / \text{diametro iniziale} = (133.79 - 126.76) / 126.76 = 5.546\%$

Angoli con l'orizzontale:

	SINISTRA	DESTRA
ANGOLO INIZIALE	86.8°	84.7°
ANGOLO FINALE	81.253°	81.778°



C.8.4 Risultati Blocco 0: restrizioni sul modello.

Conclusioni

Si conferma che le restrizioni sono necessarie per una corretta convergenza del modello.
Per soluzioni di convergenza la variazione dello springback non era superiore a 4%.
Scegliamo il tipo di Rstrizioni E, che è la restrizione imposta sul modello in tutte le seguenti

La scelta delle restrizione E si deve a la buona convergenza e la impossibilità di giro intorno all'asse Y dell'oggetto.

RESTRIZIONI	SPRINGBACK
C	5.23%
D	5301%
E	5.54%

C.9 BLOCCO DI PROVE 1: INFLUENZA DEL NUMERO DI LAMINE NELLO SPRINGBACK.

Come spiegato e sviluppato nel precedente blocco A il numero di strati ha una grande influenza sul ritorno elastico.

Secondo l'equazione pratica del instituttre forestale d'Inghilterra sul ritorno elastico, è ridotta in proporzione seguente:

$$\%S=100/[(n^2)-1] \qquad n: \text{numero de lamine.} \qquad \text{Eq.[1]}$$

Con le prove effettuate in laboratorio hanno confermato questa equazione, se è vero che ci sono stati piccoli aggiustamenti ma nel complesso sembra che lo springback del laminato di legno aumenta o diminuisce in proporzione menzionati in Eq.[1].

Useremo il modello creato in ANSYS per supportare questi dati sperimentali.

C.9.1 obiettivi

Sostenere o supportare i dati ottenuti in prove di laboratorio e quelli ottenuti dall'applicazione diretta della Eq[1]. Preventivamente chiarito che a causa della complessità di calcolo del ritorno elastico, la natura statistica del processo e la moltitudine di iparametri di influenza nel loro calcolo non si aspetta di ottenere risultati uguali a quelli dell'Eq[1], ma dati che confermano questa tendenza.

C.9.2 Metodología delle prove.

4 prove vengono eseguite con un numero diverso di fogli, 3,4,5,6 lamine.

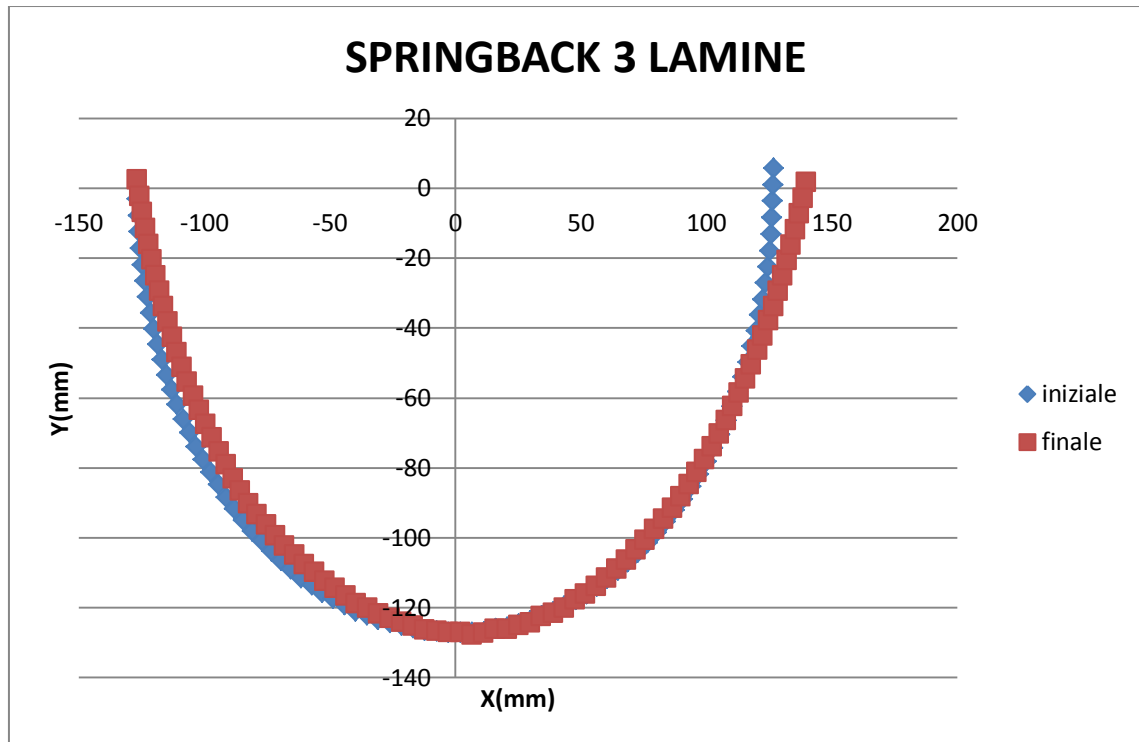
Ho scelto il numero di fogli per un confronto diretto con i test che ho fatto in laboratorio e il test fatto per i tecnologi del progetto Velante del Politecnico di Bari. Sebbene il processo che sono stati utilizzati sono diversi.

L'orientamento delle lamine sarà alternativo

PROVA	Nº LAMINE	ORIENTAMENTO	SPRINGBACK Eq.[1]
P12_03IMP	3	0-90-0	12.5%
P12_04IMP	4	0-90-0-90	6.666%
P12_05IMP	5	0-90-0-90-0	4.1666%
P12_05IMP	6	0-90-0-90-0-90	2.857%

C.9.3 Prove blocco 1

ANALISI	IMPLICITO
PROVA	P12_03IMP
PROVA DI ORIGINE	P12_00
CONVERGENZA	SI
Nº LAMINE	3
ORIENTAMENTO DELLE LAMINE	0-90-0



Calcolo dello SpringBack:

$(\text{Raggio finale} - \text{Raggio iniziale}) / \text{Raggio iniziale}$

$(\text{diametro finale} - \text{diametro iniziale}) / \text{diametro iniziale} = (143 - 126.84) / 126.84 = 12.7\%$

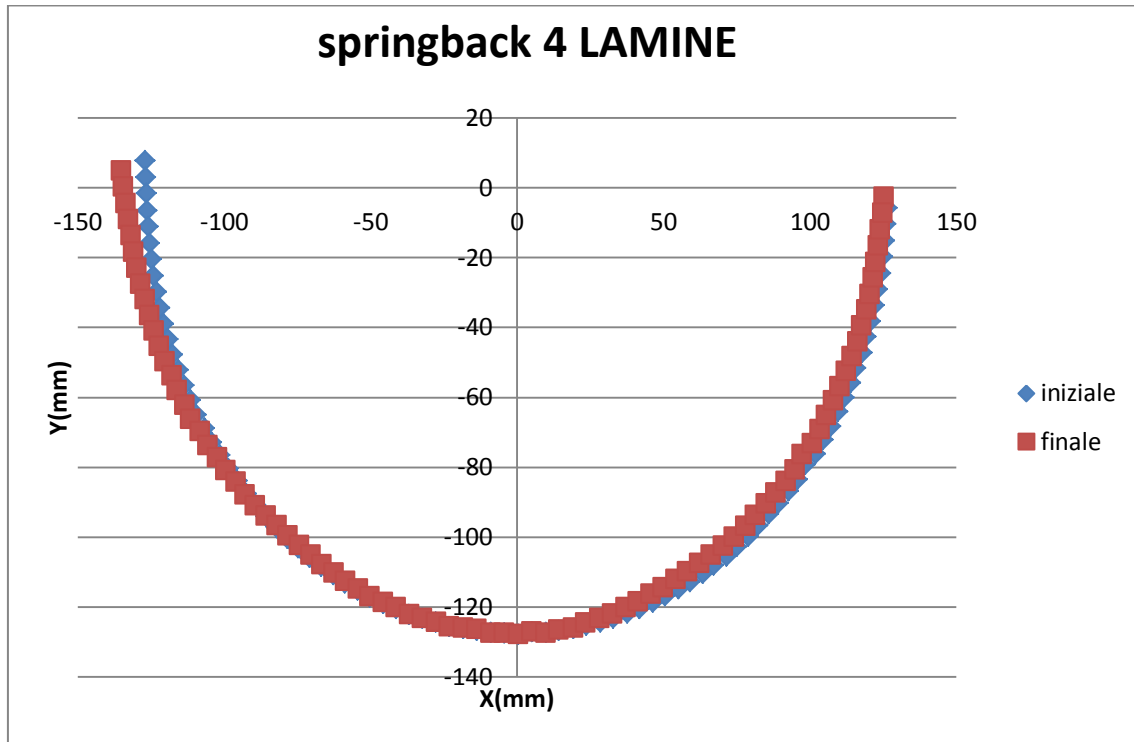
	INIZIALE	FINALE
RAGGIO	126.84	143
ANGOLO SINISTRA	85.5°	77.5°
ANGOLO DESTRA	86.7°	72°
	Eq.[1]	ANSYS
SPRINGBACK	12.8%	12.7%

P12_03IMP. Coordinate iniziali e finali una volta che lo springback e fatto. Tensione di Von-Mises equivalente. Dati delle coordinate in (mm), dati delle tensioni in (MPa).

X	Y	x springback	Y springback	SEQV
-126.59	-3.094	-126.626814	2.3288	5.5106
126.91	5.7423	140.011	1.6465	2.9499
-126.26	-7.8796	-125.60959	-2.3451	8.2466
-125.84	-12.528	-124.538	-6.8972	11.117
-125.33	-17.271	-123.4038	-11.5082	12.327
-124.68	-21.92	-122.2113	-16.0454	17.494
-123.76	-26.578	-120.8182	-20.5717	21.731
-122.72	-31.18	-119.4	-25.0583	17.152
-121.47	-35.741	-117.855	-29.5179	13.429
-120.07	-40.266	-116.2453	-33.9512	13.835
-118.5	-44.71	-114.5289	-38.3357	12.083
-116.78	-49.141	-112.7381	-42.7186	13.009
-114.99	-53.484	-110.9283	-47.0523	4.5465
-112.95	-57.794	-108.8972	-51.3482	10.123
-110.77	-61.933	-106.7646	-55.5013	4.523
-108.34	-66.05	-104.3564	-59.6267	8.4329
-105.85	-69.996	-101.9181	-63.5929	15.498
-103.17	-73.973	-99.3728	-67.6448	19.265
-100.4	-77.713	-96.8203	-71.5211	17.823
-97.359	-81.426	-94.0876	-75.4498	14.675
-94.278	-84.908	-91.3433	-79.1965	4.8234
-91.116	-88.518	-88.5607	-83.0976	9.7607
-87.815	-91.796	-85.5792	-86.6842	21.395
-84.379	-95.116	-82.3959	-90.2546	19.469
-80.822	-98.131	-78.991	-93.4601	14.844
-76.969	-100.97	-75.2682	-96.4434	21.973
-73.253	-103.79	-71.6901	-99.4468	11.607
-69.346	-106.54	-67.9205	-102.377	9.5587
-65.398	-109.02	-64.0679	-105.0246	22.169
-61.306	-111.48	-60.0839	-107.6686	18.661
-57.122	-113.54	-56.0521	-109.9929	9.6525
-52.889	-115.75	-51.98975	-112.5133	12.016
-48.544	-117.44	-47.80735	-114.5626	14.255
-44.144	-119.29	-43.56879	-116.769	16.625
-39.818	-121.02	-39.36604	-118.8024	9.8908
-35.192	-122.21	-34.81467	-120.2549	3.9084
-30.729	-123.55	-30.436	-121.883	13.147
-26.009	-124.35	-25.80953	-123.0445	12.193
-21.418	-125.08	-21.27799	-124.18284	9.9564
-16.705	-125.82	-16.665831	-125.30563	10.616
-12.116	-126.65	-12.1220515	-126.48129	22.132

-7.3638	-126.84	-7.3571484	-126.755192	15.317
-2.707	-127.15	-2.707	-127.15	16.914
2.0385	-127.11	2.0385	-127.11	18.333
6.7068	-127.22	6.653663	-127.807	18.354
11.45	-126.87	11.416626	-127.38976	15.507
16.055	-126.11	15.996575	-126.2994	22.931
20.803	-125.6	20.77532	-126.20281	15.466
25.359	-124.72	25.288565	-125.11014	9.5211
30.067	-123.75	30.036347	-124.31046	15.496
34.491	-122.38	34.3599	-122.56647	11.671
39.165	-121.19	39.085363	-121.58225	17.401
43.533	-119.67	43.495178	-120.11432	8.4436
47.975	-117.8	47.69036	-117.733664	15.203
52.267	-116.08	52.00668	-116.138736	5.4079
56.577	-113.91	56.34274	-114.002903	14.213
60.656	-111.74	60.24537	-111.49995	7.2061
64.882	-109.39	64.40731	-109.04723	9.8309
68.787	-106.93	68.21035	-106.4324	8.9512
72.8	-104.23	72.06521	-103.51747	18.065
76.523	-101.5	75.72185	-100.71424	18.451
80.31	-98.498	79.45407	-97.66384	16.558
83.829	-95.505	83.02575	-94.7381	6.9565
87.374	-92.222	86.63156	-91.53377	8.6971
90.648	-88.963	89.88227	-88.23625	4.7155
93.943	-85.431	93.17544	-84.73078	8.3563
96.985	-81.949	96.28703	-81.30684	13.206
99.982	-78.167	99.41086	-77.65233	2.5734
102.75	-74.454	102.33522	-74.06801	4.1596
105.51	-70.509	105.27443	-70.27364	12.627
107.97	-66.573	107.934171	-66.46705	19.782
110.41	-62.432	110.62589	-62.500317	17.049
112.57	-58.311	113.18389	-58.61865	17.242
114.7	-54.021	115.7145	-54.55984	21.756
116.59	-49.745	118.0272	-50.50274	22.476
118.31	-45.294	120.4309	-46.3949	14.789
119.89	-40.874	122.6354	-42.2606	16.365
121.31	-36.346	124.7224	-38.0013	19.288
122.55	-31.791	126.8439	-33.7992	16.38
123.62	-27.197	128.6676	-29.4483	19.308
124.51	-22.532	130.5755	-25.1163	18.105
125.24	-17.9	132.3139	-20.7567	22.03
125.84	-13.161	133.8953	-16.2687	26.258
126.14	-8.5096	135.5512	-11.912	11.49
126.37	-3.7096	137.054	-7.3501	5.2212
126.64	0.9153	138.501	-2.9463	5.1824

ANALISI	IMPLICITO
PROVA	P12_04IMP
PROVA DI ORIGINE	P12_00
CONVERGENZA	SI
N° LAMINE	4
ORIENTAMENTO DELLE LAMINE	0-90-0-0



Calcolo dello SpringBack:

$(\text{Raggio finale} - \text{Raggio iniziale}) / \text{Raggio iniziale}$

$(\text{diametro finale} - \text{diametro iniziale}) / \text{diametro iniziale} = (140 - 126.89) / 126.89 = 10.33\%$

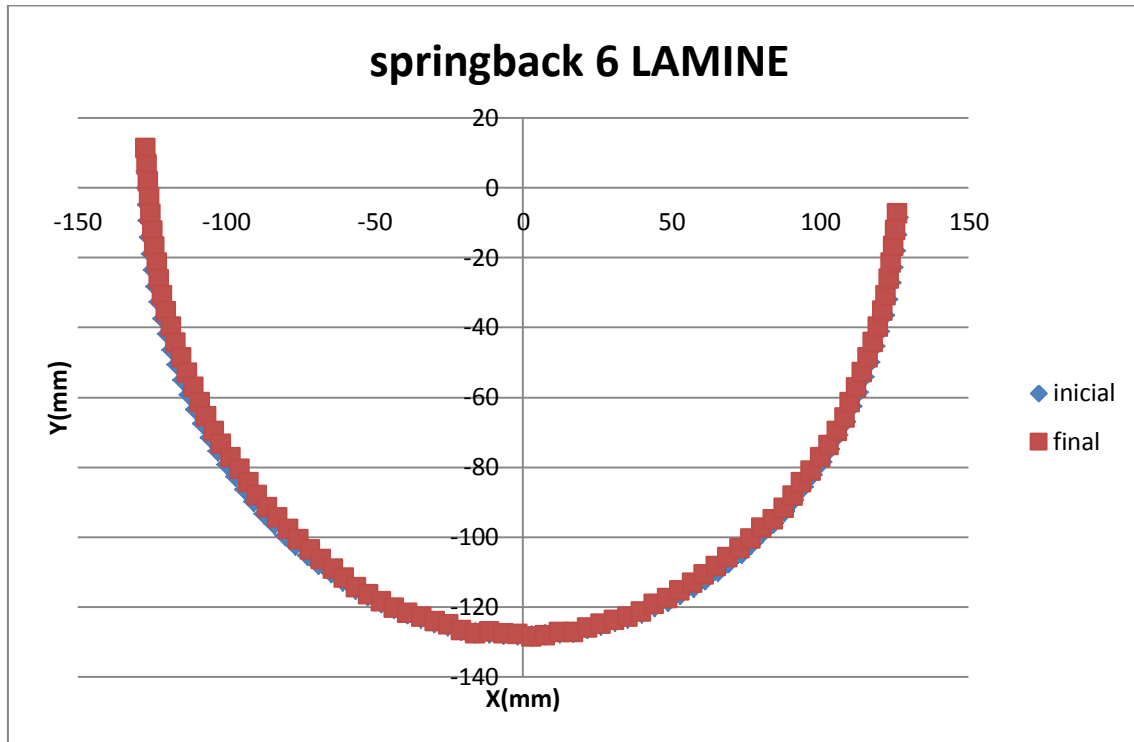
	INIZIALE	FINALE
RAGGIO	126.89	140
ANGOLO SINISTRA	87.4°	80.56°
ANGOLO DESTRA	85°	82.1°
	Eq.[1]	ANSYS
SPRINGBACK	6.66%	10.33%

P13_04IMP. Coordinate iniziali e finali una volta che lo springback e fatto. Tensione di Von-Mises equivalente. Dati delle coordinate in (mm), dati delle tensioni in (MPa).

X	Y	x springback	y springback	SEQV
-127	7.7219	-135.1609	4.8183	1.5001
126.38	-5.7853	125.46141	-2.6955	7.6446
-126.72	2.9319	-134.3064	0.0975	4.5112
-126.51	-1.7229	-133.5645	-4.5014	8.1599
-126.24	-6.5104	-132.677	-9.2176	7.5275
-125.97	-11.172	-131.8385	-13.8065	11.328
-125.53	-15.935	-130.9534	-18.5096	11.406
-124.82	-20.55	-129.8481	-23.0452	6.6619
-124.06	-25.273	-128.4255	-27.6243	9.5893
-123.03	-29.836	-126.883	-32.0223	9.3927
-121.9	-34.477	-125.4624	-36.5966	5.3392
-120.62	-38.977	-123.8565	-40.9737	9.7586
-119.1	-43.503	-122.173	-45.4651	10.136
-117.47	-47.891	-120.2978	-49.7409	4.579
-115.5	-52.242	-117.8688	-53.8525	11.905
-113.68	-56.561	-116.0136	-58.1592	23.973
-111.49	-60.785	-113.5146	-62.2282	18.452
-109.4	-64.969	-111.379	-66.368	9.1537
-106.61	-68.826	-108.0907	-69.8542	7.3487
-104.2	-72.85	-105.5749	-73.79678	1.0879
-101.3	-76.625	-102.313	-77.29858	11.069
-98.532	-80.414	-99.39466	-80.98906	7.2533
-95.398	-83.989	-95.97405	-84.30298	4.0933
-92.35	-87.571	-92.85279	-87.84098	6.0485
-89.031	-90.945	-89.29794	-90.971357	12.5
-85.579	-94.175	-85.5853107	-93.89986	10.548
-82.059	-97.302	-81.86599	-96.78632	11.081
-78.399	-100.33	-78.10164	-99.67007	9.4879
-74.672	-103.17	-74.29588	-102.40136	10.69
-70.767	-105.91	-70.37038	-105.0847	7.329
-66.892	-108.5	-66.61136	-107.86706	5.2103
-62.745	-110.91	-62.46111	-110.23243	5.3198
-58.683	-113.15	-58.44693	-112.57903	3.2319
-54.357	-115.27	-54.22348	-114.85354	2.5489
-50.206	-117.3	-50.143507	-117.08361	7.2818
-45.678	-119	-45.590544	-118.69605	8.6515
-41.317	-120.49	-41.19238	-120.12203	22.917
-36.791	-122.22	-36.766946	-122.10256	15.803
-32.34	-123.34	-32.291772	-123.21427	3.3924
-27.612	-124.47	-27.571375	-124.31369	10.83
-23.172	-125.61	-23.176838	-125.73145	6.1323

-18.331	-126.15	-18.296411	-125.98671	21.781
-13.784	-126.71	-13.738187	-126.45995	6.4261
-8.9672	-127.35	-8.9737095	-127.49832	6.1529
-4.3868	-127.43	-4.391507	-127.43	16.254
0.46605	-127.83	0.4686377	-127.83	11.203
5.0172	-127.21	5.01690562	-127.21	21.917
9.9001	-127.28	9.915187	-127.4985	23.116
14.391	-126.73	14.373853	-126.61787	14.427
19.268	-126.19	19.2590997	-126.0016	8.7149
23.694	-125.31	23.52902	-124.47951	22.266
28.515	-124.34	28.29232	-123.3045	7.9682
32.897	-123.27	32.64339	-122.0686	14.094
37.618	-121.86	37.17938	-120.1308	6.5261
41.902	-120.45	41.37311	-118.4375	12.838
46.507	-118.69	45.83831	-116.4113	4.0716
50.663	-116.95	49.91169	-114.4222	4.4731
55.149	-114.89	54.25394	-112.1507	9.914
59.15	-112.81	58.20597	-109.9186	12.062
63.475	-110.43	62.48089	-107.5116	15.873
67.315	-108.07	66.36973	-105.1904	12.919
71.511	-105.47	70.57967	-102.6329	15.9
75.151	-102.8	74.22775	-99.9361	14.722
79.063	-99.792	78.10446	-96.9279	4.9868
82.326	-96.655	81.3639	-93.7639	5.0439
86.048	-93.434	85.07308	-90.5373	4.2197
89.343	-90.309	88.41698	-87.4596	16.941
92.789	-86.823	91.95469	-84.0503	17.731
95.92	-83.507	95.032	-80.7046	17.503
98.458	-79.352	97.4457	-76.4765	10.476
101.96	-76.267	100.8338	-73.3106	9.2257
104.66	-72.236	103.4489	-69.1917	6.7959
107.15	-68.358	105.7975	-65.2475	10.474
109.61	-64.194	108.1204	-60.9832	7.4743
111.8	-60.122	110.2488	-56.904	8.9381
113.97	-55.81	112.4522	-52.5995	13.993
115.86	-51.584	114.4071	-48.4312	12.419
117.87	-47.197	116.4753	-44.0635	11.423
119.18	-42.742	117.7979	-39.5939	12.226
120.87	-38.233	119.4222	-35.0648	14.997
122.1	-33.77	120.5953	-30.5888	10.282
123.19	-29.069	121.6193	-25.878	8.9255
124.18	-24.55	122.5977	-21.3562	11.152
124.95	-19.78	123.4205	-16.6068	6.7188
125.53	-15.198	124.1565	-12.0531	6.6227
125.99	-10.382	124.8368	-7.2695	6.2466

ANALISI	IMPLICITO
PROVA	P12_06IMP
PROVA DI ORIGINE	P12_00
CONVERGENZA	SI
N° LAMINE	6
ORIENTAMENTO DELLE LAMINE	0-90-0-90-0-90



Calcuolo dello SpringBack:

(Raggio finale- Raggio iniziale)/Raggio iniziale

(diametro finale- diametro iniziale)/ diametro iniziale=(131-127.06)/127.06=3.1%

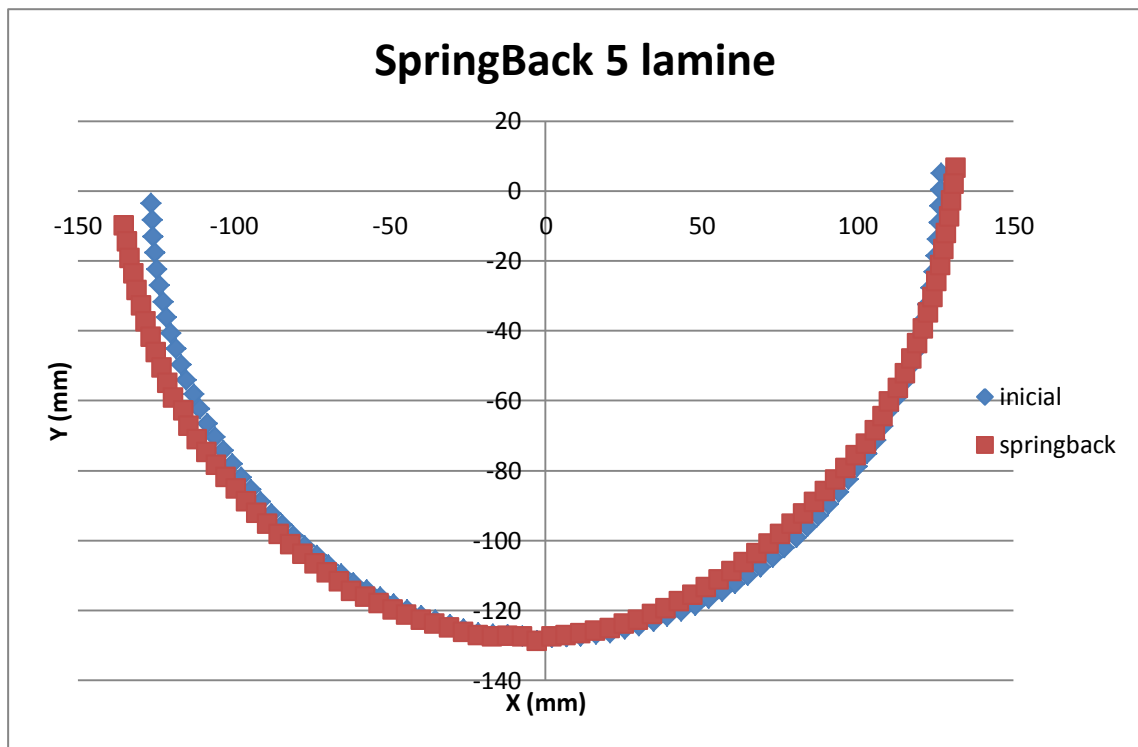
	INIZIALE	FINALE
RAGGIO	127.06	131
ANGOLO SINISTRA	86.8°	84.7°
ANGOLO DESTRA	83.8°	82.75°
	Eq.[1]	ANSYS
SPRINGBACK	2.857%	3.1%

P12_06IMP Coordinate iniziali e finali una volta che lo springback e fatto. Tensione di Von-Mises equivalente. Dati delle coordinate in (mm), dati delle tensioni in (MPa).

NODE	X	Y	Xspring back	Ysprngback	SEQV
18077	-127.13	9.3527	-127.131203	11.1607	0.49839
18078	126.32	-8.6562	126.00574	-7.4358	3.8409
18079	-126.89	4.5768	-126.68731	6.3987	1.3088
18080	-126.64	-0.10409	-126.25517	1.73121	3.6972
18081	-126.4	-4.8556	-125.81706	-3.0054	4.0685
18082	-126.12	-9.5612	-125.26143	-7.6878	6.7698
18083	-125.77	-14.279	-124.6099	-12.3657	6.6453
18084	-125.2	-18.982	-124.028	-17.0703	8.3935
18085	-124.47	-23.625	-123.2916	-21.6974	22.243
18086	-123.62	-28.314	-122.4653	-26.4025	25.624
18087	-122.5	-32.853	-121.4164	-30.9509	21.535
18088	-121.3	-37.494	-120.1875	-35.6222	9.1648
18089	-119.8	-41.898	-118.537	-39.9433	21.4
18090	-118.27	-46.463	-117.0164	-44.5363	21.658
18091	-116.5	-50.744	-115.0282	-48.6974	21.594
18092	-114.6	-55.19	-113.117	-53.1632	20.803
18093	-112.51	-59.298	-110.9864	-57.2081	18.713
18094	-110.24	-63.581	-108.7337	-61.5381	13.792
18095	-107.89	-67.536	-106.5019	-65.5083	14.046
18096	-105.37	-71.686	-104.1163	-69.7895	25.162
18097	-102.75	-75.457	-101.5311	-73.5327	29.899
18098	-99.754	-79.266	-98.4385	-77.2991	12.963
18099	-96.779	-82.771	-95.3561	-80.68	13.393
18100	-93.654	-86.479	-92.3511	-84.5192	28.807
18101	-90.695	-89.961	-89.5999	-88.1425	20.314
18102	-87.175	-93.347	-86.032	-91.5157	5.6005
18103	-83.811	-96.435	-82.654	-94.563	7.9895
18104	-80.104	-99.605	-78.9875	-97.7862	5.0167
18105	-76.526	-102.45	-75.5012	-100.731	8.1559
18106	-72.571	-105.29	-71.62078	-103.6741	11.226
18107	-68.761	-107.85	-67.94334	-106.4106	8.1463
18108	-64.615	-110.35	-63.96699	-109.1497	8.2779
18109	-60.622	-112.67	-60.15159	-111.76234	7.7071
18110	-56.417	-115.01	-56.23547	-114.55593	16.661
18111	-52.188	-116.92	-52.02335	-116.55546	7.3849
18112	-47.806	-118.83	-47.68108	-118.5239	8.2573
18113	-43.462	-120.57	-43.36842	-120.37074	5.7665
18114	-38.968	-122.09	-38.83464	-121.76523	14.362
18115	-34.412	-123.32	-34.22896	-122.84974	11.501
18116	-29.868	-124.57	-29.72824	-124.17454	3.3828
18117	-25.229	-125.54	-25.0899	-125.19201	5.4567

18118	-20.682	-126.72	-20.69329	-126.85974	14.465
18119	-15.974	-127.42	-15.9725344	-127.59977	4.3087
18120	-11.291	-127.43	-11.2810327	-127.15569	8.839
18121	-6.5247	-127.85	-6.520549	-127.67263	10.228
18122	-1.9003	-127.99	-1.8997684	-127.8106	14.732
18123	2.922	-128.44	2.901157	-128.62459	16.08
18124	7.5259	-128.14	7.5339451	-128.27988	17.948
18125	12.316	-127.5	12.269058	-127.3114	10.304
18126	16.927	-127.25	16.9315638	-127.280035	15.762
18127	21.66	-126.22	21.594487	-126.02122	4.9214
18128	26.168	-125.35	26.115939	-125.0036	16.018
18129	30.869	-124.19	30.76029	-123.83136	9.9847
18130	35.356	-123.21	35.334639	-122.97104	10.943
18131	40.002	-121.84	39.89749	-121.48387	23.671
18132	44.224	-120.03	44.03028	-119.32884	12.234
18133	48.827	-118.46	48.55595	-117.65199	12.731
18134	52.977	-116.54	52.63059	-115.4915	12.977
18135	57.382	-114.45	56.95214	-113.2841	6.4317
18136	61.381	-112.26	60.83467	-110.8671	8.4276
18137	65.646	-109.9	65.09731	-108.5013	13.933
18138	69.429	-107.36	68.80753	-105.8863	16.989
18139	73.54	-104.74	73.02451	-103.3786	10.53
18140	77.127	-101.91	76.63617	-100.64	12.021
18141	80.842	-98.797	80.40101	-97.5112	10.864
18142	84.498	-96.021	84.22508	-95.06312	6.0103
18143	87.987	-92.673	87.87493	-91.78288	16.064
18144	91.158	-89.346	90.81521	-88.3025	12.092
18145	94.318	-85.692	93.78903	-84.4378	5.5888
18146	97.46	-82.312	96.94462	-81.11	10.228
18147	100.5	-78.556	100.07329	-77.3861	9.1225
18148	103.25	-74.845	102.88883	-73.7462	7.9255
18149	106.02	-70.887	105.74904	-69.8205	11.314
18150	108.63	-67.064	108.29	-65.96	3.7232
18151	110.63	-62.65	110.16508	-61.4747	12.775
18152	112.89	-58.624	112.31708	-57.3952	8.2191
18153	114.89	-54.229	114.25743	-52.9746	4.0694
18154	116.7	-49.985	116.07286	-48.7194	17.776
18155	118.53	-45.511	117.9498	-44.2626	31.599
18156	120.09	-41.168	119.56761	-39.9343	38.887
18157	121.65	-36.588	121.12342	-35.3511	25.725
18158	122.75	-32.109	122.20701	-30.8685	25.779
18159	123.8	-27.386	123.20871	-26.133	38.114
18160	124.52	-22.829	123.94168	-21.5753	27.236
18161	125.31	-18.054	124.80397	-16.8143	13.64
18162	125.79	-13.468	125.37597	-12.2295	11.565

ANALISI	IMPLICITO
PROVA	P12_05IMP
PROVA DI ORIGINE	P12_00
CONVERGENZA	SI
N° LAMINE	5
ORIENTAMENTO DELLE LAMINE	0-90-0-90-0



Calculo dello SpringBack:

$(\text{Raggio finale} - \text{Raggio iniziale}) / \text{Raggio iniziale}$

$(\text{diametro finale} - \text{diametro iniziale}) / \text{diametro iniziale} = (133.5777 - 127.4358) / 127.4358 = 4.8196\%$

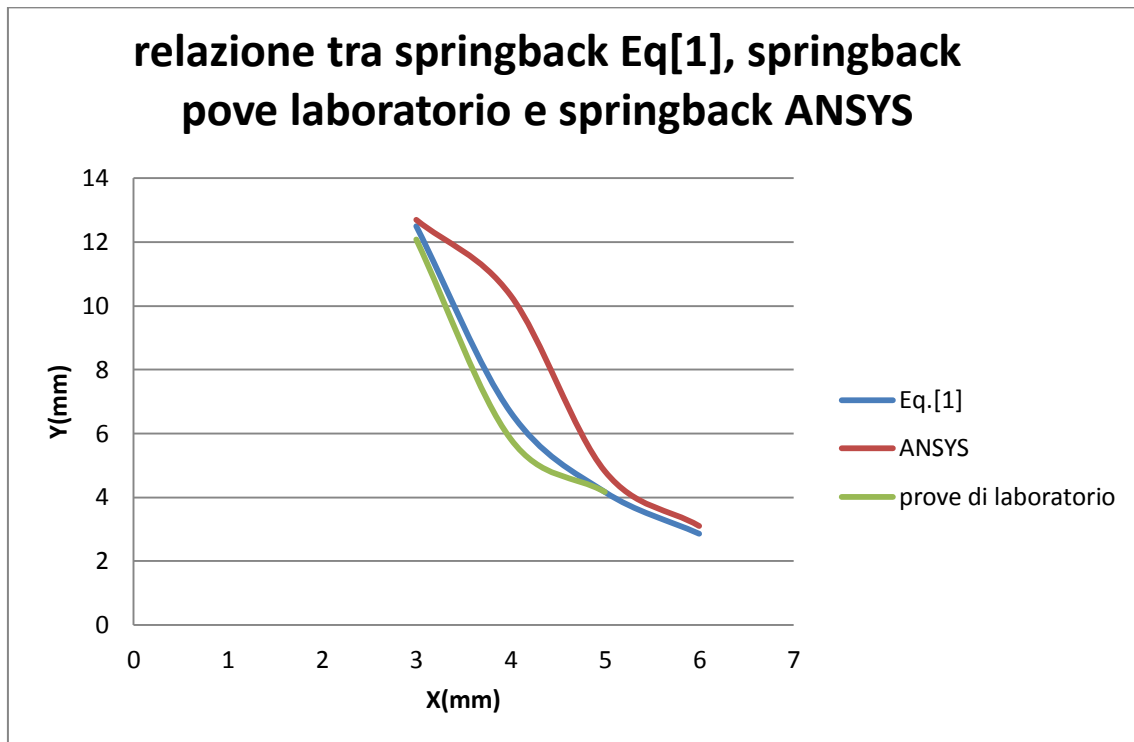
	INIZIALE	FINALE
RAGGIO	127.43	133.5777
ANGOLO SINISTRA	86.8°	84.7°
ANGOLO DESTRA	81.253°	81.778
	Eq.[1]	ANSYS
SPRINGBACK	4.16%	4.819%

P12_05IMP. Coordinate iniziali e finali una volta che lo springback e fatto. Tensione di Von-Mises equivalente. Dati delle coordinate in (mm), dati delle tensioni in (MPa).

NODE	X INIZIALE	Y INIZIALE	X FINALE	Y FINALE	SEQV
18077	-126,457858	-3,59576167	-135,139458	-9,97136167	6,1121000
18078	126,829996	5,16360559	131,527196	6,62830559	7,5834000
18079	-126,179576	-8,19822884	-134,222476	-14,4985288	12,9090000
18080	-125,883583	-13,0269276	-133,247183	-19,2269276	17,4570000
18081	-125,345949	-17,6202128	-132,172549	-23,7252128	
18082	-124,628443	-22,3909653	-130,960943	-28,3805653	21,3310000
18083	-123,826697	-26,9582589	-129,605797	-32,8145589	24,6880000
18084	-122,730775	-31,644701	-128,109275	-37,376301	21,3240000
18085	-121,528944	-36,1346095	-126,530844	-41,7406095	22,5100000
18086	-120,136357	-40,7282671	-124,849457	-46,2307671	16,1330000
18087	-118,590289	-45,1202378	-123,111089	-50,5493378	25,9440000
18088	-116,915409	-4,96E+01	-121,179209	-54,9431488	27,0330000
18089	-115,305861	-53,9864396	-119,321761	-59,2398396	5,3147000
18090	-112,712552	-58,0181004	-116,119952	-62,8516004	13,1590000
18091	-110,895068	-62,3228466	-114,349168	-67,2004466	13,0080000
18092	-108,564622	-66,4501354	-111,753422	-71,1693354	12,9960000
18093	-105,931792	-70,3624097	-108,658392	-74,7635097	20,1750000
18094	-103,305046	-74,2825934	-105,644446	-78,3892934	2,2690000
18095	-100,461042	-78,0593242	-102,410342	-81,8275242	5,7814000
18096	-97,58958	-81,7936686	-99,21028	-85,2657686	15,3120000
18097	-94,5398462	-85,4211167	-96,0354462	-88,7770167	16,8040000
18098	-91,3269715	-88,8551407	-92,6554715	-92,0543407	8,6454000
18099	-88,0091203	-92,2544627	-89,1262203	-95,2364627	9,0045000
18100	-84,5323058	-95,415589	-85,4390258	-98,143489	
18101	-80,9566064	-98,5578587	-81,6917364	-101,066259	26,0320000
18102	-77,3038692	-101,509871	-77,9340592	-103,876771	24,1570000
18103	-73,4242957	-104,284829	-74,0026057	-106,553629	27,9190000
18104	-69,5892276	-106,977604	-70,1470176	-109,220904	13,2820000
18105	-65,5417967	-109,511928	-66,1387667	-111,790228	46,2840000
18106	-61,650659	-112,10934	-62,287889	-114,48414	29,2250000
18107	-57,2538054	-114,073369	-57,7710754	-116,178769	15,9190000
18108	-53,090564	-116,127795	-53,472874	-117,967195	10,2290000
18109	-48,7118622	-118,160186	-48,9988322	-119,720086	6,8724000
18110	-44,4193444	-119,879766	-44,6139744	-121,236666	21,0580000
18111	-39,8435533	-121,479922	-40,0005233	-122,640622	24,9670000
18112	-35,4298554	-122,780515	-35,5304554	-123,803415	15,1670000
18113	-30,7288889	-124,03502	-30,8416989	-124,98935	
18114	-26,304829	-125,216714	-26,385151	-126,140624	16,5430000
18115	-21,5527259	-126,363068	-21,6152049	-127,161648	20,1180000
18116	-16,9942472	-126,813687	-17,0200112	-127,399387	9,2170000
18117	-12,0907028	-126,85877	-12,1177158	-127,2203	12,4190000

18118	-7,53932852	-127,279198	-7,54973052	-127,457148	11,7980000
18119	-2,7687983	-128,649024	-2,7361713	-128,807114	30,0500000
18120	1,88439521	-127,644375	1,88265981	-127,505275	28,6350000
18121	6,64408928	-127,559144	6,58617628	-127,137744	17,7560000
18122	11,3110045	-127,233034	11,2379035	-126,484474	17,2700000
18123	16,0569728	-126,754206	15,9195128	-125,761946	21,8900000
18124	20,7276246	-126,349216	20,5927446	-125,118116	14,8590000
18125	25,3912695	-125,31813	25,1691295	-123,89603	23,9210000
18126	29,9640334	-124,336812	29,7205634	-122,669312	23,2230000
18127	34,576669	-123,108073	34,209029	-121,139373	9,1409000
18128	39,0295681	-121,652248	38,5717781	-119,335748	3,1501000
18129	43,5342651	-120,090639	42,9157451	-117,448039	6,6005000
18130	47,9187947	-118,42246	47,1995447	-115,49706	11,4720000
18131	52,2892634	-116,538429	51,4338534	-113,382329	11,0110000
18132	56,5324804	-114,51322	55,5756304	-111,13882	
18133	60,7474124	-112,323433	59,6757124	-108,777533	25,3340000
18134	64,8131151	-109,941253	63,6647151	-106,272753	25,5780000
18135	68,8538502	-107,469285	67,6343502	-103,706285	16,9340000
18136	72,7765322	-104,840184	71,5003322	-101,006784	15,4810000
18137	76,5955182	-102,05642	75,2912182	-98,1979201	18,4870000
18138	80,3077778	-99,1198686	79,0047778	-95,2766686	19,7490000
18139	83,8897815	-96,0502669	82,6122815	-92,2467669	23,6170000
18140	87,375129	-92,8317928	86,149529	-89,0994928	18,6410000
18141	90,7083473	-89,507422	89,5894473	-85,895022	12,9720000
18142	93,9590471	-86,0386695	93,0019271	-82,6054695	
18143	97,0486658	-82,5019571	96,3065758	-79,2673571	
18144	99,9269589	-78,7038074	99,4261989	-75,6717074	
18145	103,002816	-75,1590153	102,708626	-72,3049153	9,7956000
18146	105,809972	-71,2936439	105,678832	-68,5702439	26,2380000
18147	108,028382	-67,1638851	108,040138	-64,5156851	
18148	110,035385	-62,8194809	110,172635	-60,2357809	7,9609000
18149	112,634667	-58,909935	112,942587	-56,438835	16,4970000
18150	114,786028	-54,656763	115,297838	-52,294363	13,7440000
18151	116,583536	-50,3262869	117,275216	-48,0356869	18,8700000
18152	118,355016	-45,9069609	119,206436	-43,6907609	15,5620000
18153	119,943269	-41,4796778	121,026369	-39,3607778	9,3968000
18154	121,261574	-36,9172952	122,610074	-34,8901952	10,3870000
18155	122,529685	-32,3768148	124,118785	-30,4236148	13,6910000
18156	123,596739	-27,7633273	125,436439	-25,8837273	22,6770000
18157	124,473987	-23,1162701	126,616287	-21,3086701	
18158	125,168067	-18,4475814	127,656467	-16,7087814	12,4190000
18159	125,657465	-13,7285666	128,524465	-12,0551666	
18160	126,111177	-9,04737581	129,418677	-7,44047581	22,4260000
18161	126,357549	-4,29025192	130,115649	-2,72535192	15,3160000
18162	126,602892	0,38698122	130,818892	1,90358122	4,6444000

C.9.4 Risultati Blocco di prove 1: influenza del n° di lamine nello springback.



Il grafico qui sopra rappresenta lo springback del legno calcolato secondo l'Eq[1], lo springback ottenuto con il software ANSYS utilizzando un processo esplicito-implicito e quello ottenuto nei test di laboratorio condotti in BLOCCO A.

Come si vede nel grafico entrambi i sistemi pronostico elastico confermano che il ritorno elastico è ridotto quando si aumentano il numero di lamine che costituiscono il legno laminato.

Si osserva che i valori di ritorno elastico per fogli 3,5,6 fogli sono molto simili, con ciascuno che ha un approssimativo 90%. Tuttavia, il valore di predizione per ANSYS per 4 fogli compensato è significativamente superiore (10,3%) rispetto a quella prevista dalla Eq.[1] (6,66%). Questo fenomeno è dovuto a che in modelli di legno laminato con un numero pari di lamine lo springback non è compensato dall'orientamento delle lamine ed quindi è maggiore. In considerazione di questi risultati si mette in luce l'influenza dell'orientamento dei fogli.

I dati dall'Eq[1] sono tra i dati provenienti da prove di laboratorio ed i dati ottenuti con ANSYS. Così possiamo dire con certezza che il ritorno elastico del registro sarà tra questi valori.

C.9.5 Conclusioni blocco di prueve 1:

Abbiamo trovato una buona correlazione tra i dati dell'Eq.[1], i dati ottenuti nei test di laboratorio reali e dati ottenuti con il software ANSYS. Il che è sufficiente per validare i tre modelli di studio.

Se Mette in luce il Che l'Eq. [1] Lavora in meglio in legno laminato con nessuna disparità di laminato.

Possiamo dire con certezza che il ritorno elastico del legno sarà nella "zona di sicurezza", che è l'area compresa tra i dati provenienti da prove di laboratorio e software di ANSYS. Questa zona comprende completamente i dati dell'Eq.[1] studiata nel BLOCCO A.

LAMINE	SPRINGBACK Eq.[1]	SPRINGBACK POVE LABORATORIO	SPRINBACK ANSYS	RELAZIONE SPRINGBACK
3	12.5	12.083333	12.7	0.984251969
4	6.666666667	5.83333	10.33	0.645369474
5	4.166666667	4.16666	4.819	0.86463305
6	2.857142857	-	3.1	0.921658986

C.10 BLOCCO DI PROVE 2: INFLUENZA DELL'ORIENTAMENTO DELLE LAMINE NEL SPRINGBACK DEL LEGNO.

A causa del comportamento ortotropo del legno, il quallo non si comporta nello stesso modo quando è sottoposto a gli sforzi in un modo o nell'altro, e quindi la risposta non sarà la stessa.

L'influenza di dell'ortotropia di legno ha una influenza diretta sullo springback. Secondo la direzione delle fibre del legno laminato quello avraà uno springback o altro.

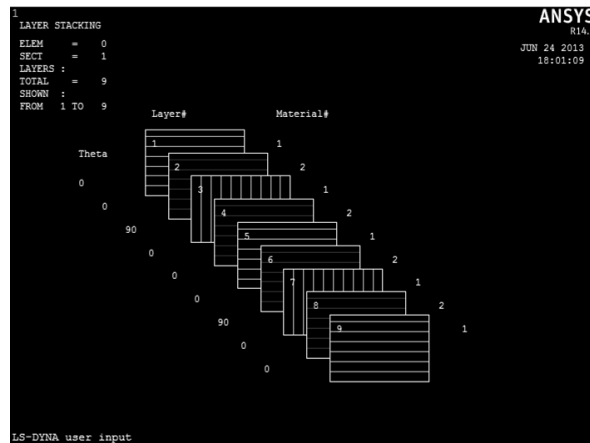


Figura50. Sezione di legno laminato in ANSYS

Per quantificare il cambiamento di springback e scegliere un'orientamento utile per ridurre lo springback i seguenti test vengono eseguiti.

C.10.1 Obiettivi

- Quantificare la variazione springback seconda dell'orientamento delle sue lame.
- Ottenere un orientamento più idoneo allo scopo di ridurre significativamente elastico senza diminuire la resistenza del complesso laminato

C.10.2 Metodología delle prove

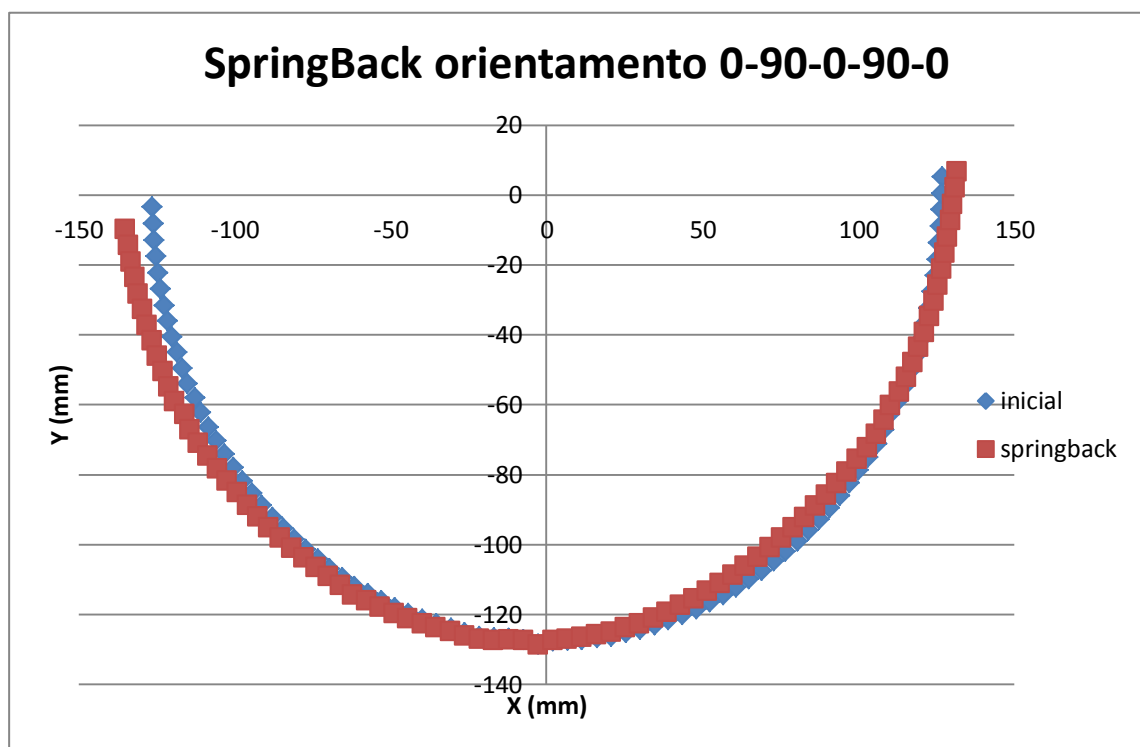
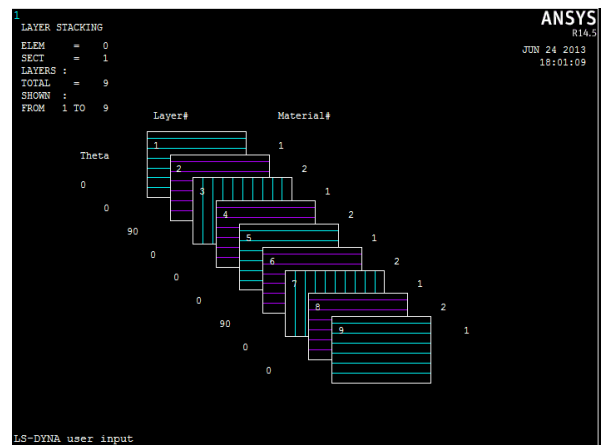
Un test è fatto esplicito con spessore corrispondente a cinque strati di legno (P10_00)
Da precedenti modello esplicito (P10_00) sono fatti modificazioni all'orientamento delle lamine e si procedono nella misura dello springback.

I test sono

PROVE	ORIENTAMENTO LAMINE (°)
P13_00IMP	0-90-0-90-0
P13_01IMP	0-0-0-0-0
P13_02IMP	90-90-90-90-90
P13_03IMP	0-30-0-30-0
P13_04IMP	0-60-0-60-0

C.10.3 Preve Blocco 2

ANALISI	IMPLICITO
PROVA	P13_00IMP
PROVA DI ORIGINE	P10_00
CONVERGENZA	SI
N° LAMINE	5
ORIENTAMENTO DELLE LAMINE	0-90-0-90-0



Calcolo dello SpringBack:

(Raggio finale- Raggio iniziale)/Raggio iniziale

$$\frac{(\text{diametro finale} - \text{diametro iniziale})}{\text{diametro iniziale}} = \frac{(133.5777 - 127.4358)}{127.4358} = 4.8196\%$$

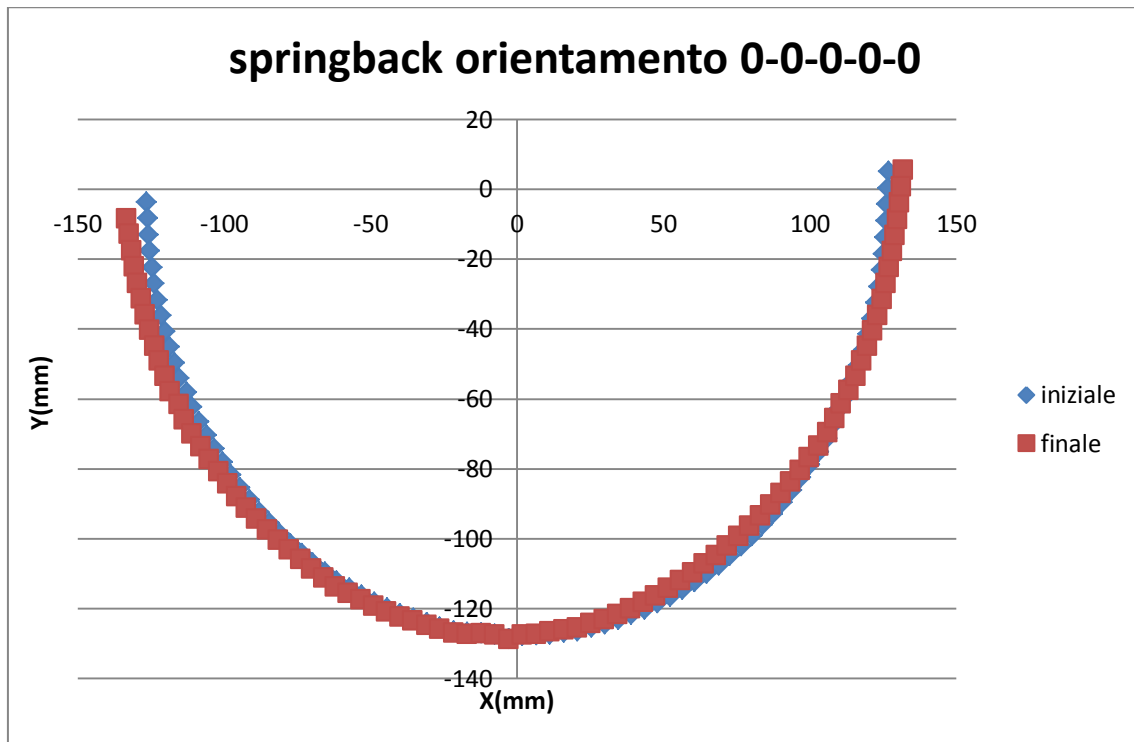
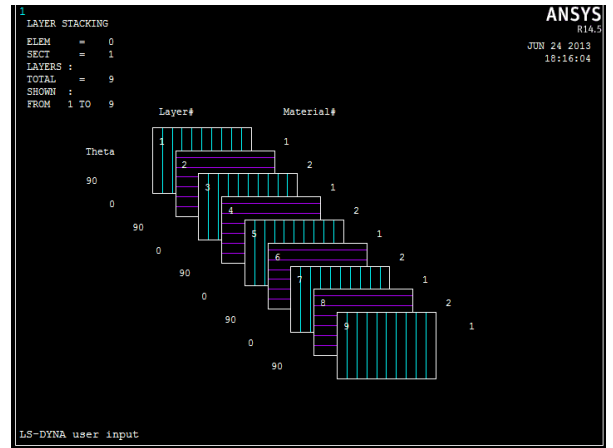
	INIZIALE	FINALE
RAGGIO	127.43	133.5777
ANGOLO SINISTRA	86.8°	84.7°
ANGOLO DESTRA	81.253°	81.778
	Eq.[1]	ANSYS
SPRINGBACK	4.16%	4.819%

P13_00IMP Coordinate iniziali e finali una volta che lo springback e fatto. Tensione di Von-Mises equivalente. Dati delle coordinate in (mm), dati delle tensioni in (MPa).

NODE	X INIZIALE	Y INIZIALE	X FINALE	Y FINALE	SEQV
18077	-126,457858	-3,59576167	-135,139458	-9,97136167	6,1121000
18078	126,829996	5,16360559	131,527196	6,62830559	7,5834000
18079	-126,179576	-8,19822884	-134,222476	-14,4985288	12,9090000
18080	-125,883583	-13,0269276	-133,247183	-19,2269276	17,4570000
18081	-125,345949	-17,6202128	-132,172549	-23,7252128	
18082	-124,628443	-22,3909653	-130,960943	-28,3805653	21,3310000
18083	-123,826697	-26,9582589	-129,605797	-32,8145589	24,6880000
18084	-122,730775	-31,644701	-128,109275	-37,376301	21,3240000
18085	-121,528944	-36,1346095	-126,530844	-41,7406095	22,5100000
18086	-120,136357	-40,7282671	-124,849457	-46,2307671	16,1330000
18087	-118,590289	-45,1202378	-123,111089	-50,5493378	25,9440000
18088	-116,915409	-4,96E+01	-121,179209	-54,9431488	27,0330000
18089	-115,305861	-53,9864396	-119,321761	-59,2398396	5,3147000
18090	-112,712552	-58,0181004	-116,119952	-62,8516004	13,1590000
18091	-110,895068	-62,3228466	-114,349168	-67,2004466	13,0080000
18092	-108,564622	-66,4501354	-111,753422	-71,1693354	12,9960000
18093	-105,931792	-70,3624097	-108,658392	-74,7635097	20,1750000
18094	-103,305046	-74,2825934	-105,644446	-78,3892934	2,2690000
18095	-100,461042	-78,0593242	-102,410342	-81,8275242	5,7814000
18096	-97,58958	-81,7936686	-99,21028	-85,2657686	15,3120000
18097	-94,5398462	-85,4211167	-96,0354462	-88,7770167	16,8040000
18098	-91,3269715	-88,8551407	-92,6554715	-92,0543407	8,6454000
18099	-88,0091203	-92,2544627	-89,1262203	-95,2364627	9,0045000
18100	-84,5323058	-95,415589	-85,4390258	-98,143489	
18101	-80,9566064	-98,5578587	-81,6917364	-101,066259	26,0320000
18102	-77,3038692	-101,509871	-77,9340592	-103,876771	24,1570000
18103	-73,4242957	-104,284829	-74,0026057	-106,553629	27,9190000
18104	-69,5892276	-106,977604	-70,1470176	-109,220904	13,2820000
18105	-65,5417967	-109,511928	-66,1387667	-111,790228	46,2840000
18106	-61,650659	-112,10934	-62,287889	-114,48414	29,2250000
18107	-57,2538054	-114,073369	-57,7710754	-116,178769	15,9190000
18108	-53,090564	-116,127795	-53,472874	-117,967195	10,2290000
18109	-48,7118622	-118,160186	-48,9988322	-119,720086	6,8724000
18110	-44,4193444	-119,879766	-44,6139744	-121,236666	21,0580000
18111	-39,8435533	-121,479922	-40,0005233	-122,640622	24,9670000
18112	-35,4298554	-122,780515	-35,5304554	-123,803415	15,1670000
18113	-30,7288889	-124,03502	-30,8416989	-124,98935	
18114	-26,304829	-125,216714	-26,385151	-126,140624	16,5430000
18115	-21,5527259	-126,363068	-21,6152049	-127,161648	20,1180000
18116	-16,9942472	-126,813687	-17,0200112	-127,399387	9,2170000
18117	-12,0907028	-126,85877	-12,1177158	-127,2203	12,4190000

18118	-7,53932852	-127,279198	-7,54973052	-127,457148	11,7980000
18119	-2,7687983	-128,649024	-2,7361713	-128,807114	30,0500000
18120	1,88439521	-127,644375	1,88265981	-127,505275	28,6350000
18121	6,64408928	-127,559144	6,58617628	-127,137744	17,7560000
18122	11,3110045	-127,233034	11,2379035	-126,484474	17,2700000
18123	16,0569728	-126,754206	15,9195128	-125,761946	21,8900000
18124	20,7276246	-126,349216	20,5927446	-125,118116	14,8590000
18125	25,3912695	-125,31813	25,1691295	-123,89603	23,9210000
18126	29,9640334	-124,336812	29,7205634	-122,669312	23,2230000
18127	34,576669	-123,108073	34,209029	-121,139373	9,1409000
18128	39,0295681	-121,652248	38,5717781	-119,335748	3,1501000
18129	43,5342651	-120,090639	42,9157451	-117,448039	6,6005000
18130	47,9187947	-118,42246	47,1995447	-115,49706	11,4720000
18131	52,2892634	-116,538429	51,4338534	-113,382329	11,0110000
18132	56,5324804	-114,51322	55,5756304	-111,13882	
18133	60,7474124	-112,323433	59,6757124	-108,777533	25,3340000
18134	64,8131151	-109,941253	63,6647151	-106,272753	25,5780000
18135	68,8538502	-107,469285	67,6343502	-103,706285	16,9340000
18136	72,7765322	-104,840184	71,5003322	-101,006784	15,4810000
18137	76,5955182	-102,05642	75,2912182	-98,1979201	18,4870000
18138	80,3077778	-99,1198686	79,0047778	-95,2766686	19,7490000
18139	83,8897815	-96,0502669	82,6122815	-92,2467669	23,6170000
18140	87,375129	-92,8317928	86,149529	-89,0994928	18,6410000
18141	90,7083473	-89,507422	89,5894473	-85,895022	12,9720000
18142	93,9590471	-86,0386695	93,0019271	-82,6054695	
18143	97,0486658	-82,5019571	96,3065758	-79,2673571	
18144	99,9269589	-78,7038074	99,4261989	-75,6717074	
18145	103,002816	-75,1590153	102,708626	-72,3049153	9,7956000
18146	105,809972	-71,2936439	105,678832	-68,5702439	26,2380000
18147	108,028382	-67,1638851	108,040138	-64,5156851	
18148	110,035385	-62,8194809	110,172635	-60,2357809	7,9609000
18149	112,634667	-58,909935	112,942587	-56,438835	16,4970000
18150	114,786028	-54,656763	115,297838	-52,294363	13,7440000
18151	116,583536	-50,3262869	117,275216	-48,0356869	18,8700000
18152	118,355016	-45,9069609	119,206436	-43,6907609	15,5620000
18153	119,943269	-41,4796778	121,026369	-39,3607778	9,3968000
18154	121,261574	-36,9172952	122,610074	-34,8901952	10,3870000
18155	122,529685	-32,3768148	124,118785	-30,4236148	13,6910000
18156	123,596739	-27,7633273	125,436439	-25,8837273	22,6770000
18157	124,473987	-23,1162701	126,616287	-21,3086701	
18158	125,168067	-18,4475814	127,656467	-16,7087814	12,4190000
18159	125,657465	-13,7285666	128,524465	-12,0551666	
18160	126,111177	-9,04737581	129,418677	-7,44047581	22,4260000
18161	126,357549	-4,29025192	130,115649	-2,72535192	15,3160000
18162	126,602892	0,38698122	130,818892	1,90358122	4,6444000

ANALISI	IMPLICITO
PROVA	P13_01IMP
PROVA DI ORIGINE	P10_00
CONVERGENZA	SI
N° LAMINE	5
ORIENTAMENTO DELLE LAMINE	0-0-0-0-0



Calcoloo dello SpringBack:

$(\text{Raggio finale} - \text{Raggio iniziale}) / \text{Raggio iniziale}$

$(\text{diametro finale} - \text{diametro iniziale}) / \text{diametro iniziale} = (133.72 - 126.74) / 126.74 = 5.5\%$

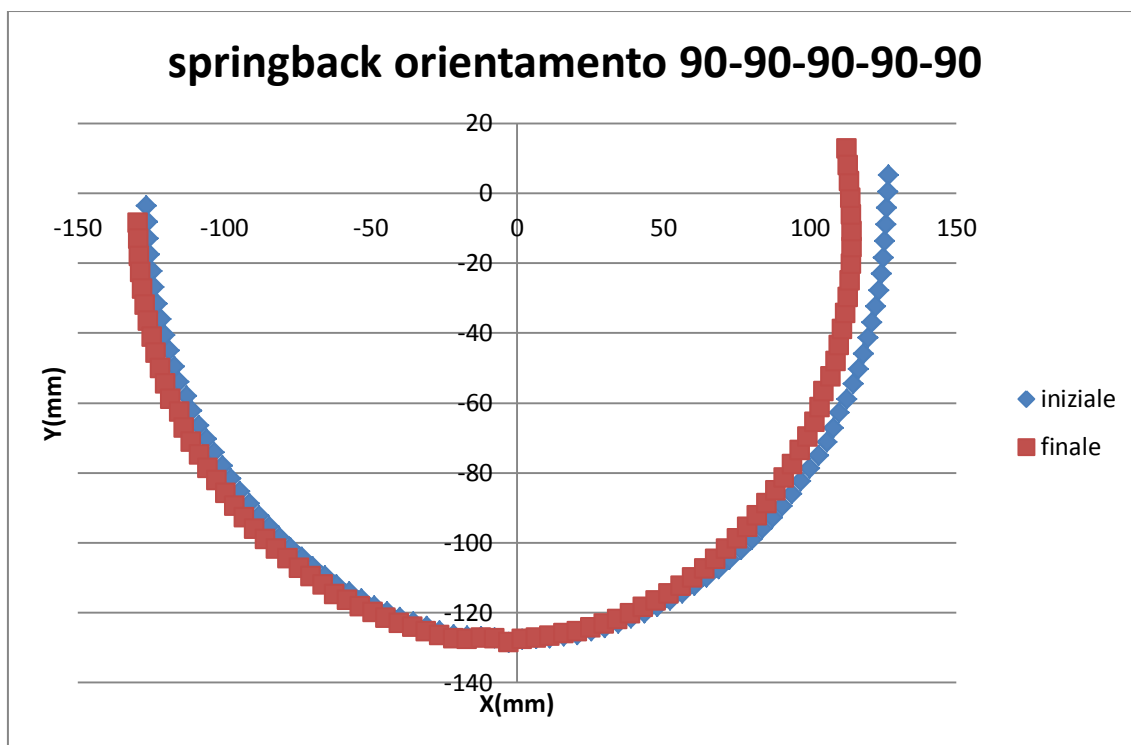
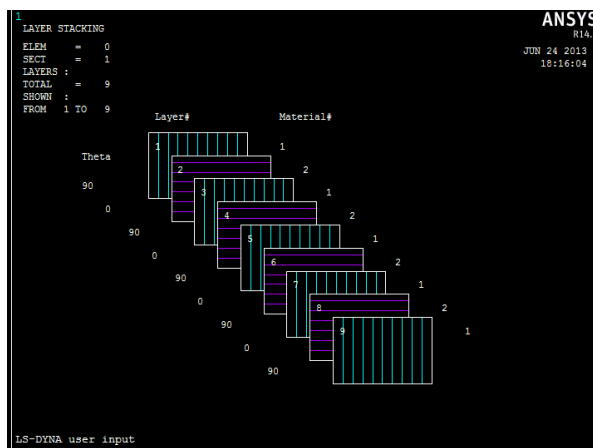
	INIZIALE	FINALE
RAGGIO	126.74	133.72
ANGOLO SINISTRA	86.42°	79.4°
ANGOLO DESTRA	87.17°	81.9°
	Eq.[1]	ANSYS
SPRINGBACK	4.16%	5.5%

P13_01IMP. Coordinate iniziali e finali una volta che lo springback e fatto. Tensione di Von-Mises equivalente. Dati delle coordinate in (mm), dati delle tensioni in (MPa).

NODE	X	Y	x springback	y springback	SEQV
18077	-126.46	-3.5958	-133.276	-8.3365	6.5163
18078	126.83	5.1636	131.8745	5.53368	6.2579
18079	-126.18	-8.1982	-132.4813	-12.8841	12.963
18080	-125.88	-13.027	-131.6422	-17.644	17.513
18081	-125.35	-17.62	-130.6826	-22.1652	14.424
18082	-124.63	-22.391	-129.5641	-26.8501	20.065
18083	-123.83	-26.958	-128.3317	-31.3174	23.758
18084	-122.73	-31.645	-126.9097	-35.9112	21.489
18085	-121.53	-36.135	-125.4129	-40.3025	21.965
18086	-120.14	-40.728	-123.791	-44.818	15.441
18087	-118.59	-45.12	-122.0799	-49.1485	23.212
18088	-116.92	-49.603	-120.2101	-53.5655	15.163
18089	-115.31	-53.986	-118.3976	-57.8782	6.047
18090	-112.71	-58.018	-115.3221	-61.5853	8.8185
18091	-110.9	-62.323	-113.5278	-65.9203	12.22
18092	-108.56	-66.45	-111.0002	-69.9333	4.5452
18093	-105.93	-70.362	-108.0033	-73.5988	11.959
18094	-103.31	-74.283	-105.0791	-77.2993	7.995
18095	-100.46	-78.059	-101.9277	-80.8089	5.5407
18096	-97.59	-81.794	-98.7962	-84.3228	18.638
18097	-94.54	-85.421	-95.6549	-87.8572	16.399
18098	-91.327	-88.855	-92.31101	-91.1777	6.9887
18099	-88.009	-92.254	-88.83827	-94.4166	7.2745
18100	-84.532	-95.416	-85.20404	-97.3938	20.567
18101	-80.957	-98.558	-81.50138	-100.3779	23.567
18102	-77.304	-101.51	-77.77498	-103.2275	24.256
18103	-73.424	-104.28	-73.85456	-105.934	27.372
18104	-69.589	-106.98	-70.01036	-108.6112	8.0854
18105	-65.542	-109.51	-65.98209	-111.171	38.756
18106	-61.651	-112.11	-62.13266	-113.8423	29.245
18107	-57.254	-114.07	-57.64034	-115.6042	17.303
18108	-53.091	-116.13	-53.37929	-117.4762	8.8465
18109	-48.712	-118.16	-48.93195	-119.3004	5.897
18110	-44.419	-119.88	-44.564	-120.86689	18.876
18111	-39.844	-121.48	-39.96593	-122.32366	23.949
18112	-35.43	-122.78	-35.50478	-123.52996	14.82
18113	-30.729	-124.04	-30.818816	-124.73559	8.3358
18114	-26.305	-125.22	-26.364135	-125.89318	13.425
18115	-21.553	-126.36	-21.605212	-126.94082	19.082
18116	-16.994	-126.81	-17.010938	-127.2384	12.193
18117	-12.091	-126.86	-12.115319	-127.13801	12.305

18118	-7.5393	-127.28	-7.5485928	-127.42271	8.5114
18119	-2.7688	-128.65	-2.74786	-128.78562	27.744
18120	1.8844	-127.64	1.8819142	-127.52684	23.145
18121	6.6441	-127.56	6.605697	-127.24129	13.529
18122	11.311	-127.23	11.26366	-126.67097	13.333
18123	16.057	-126.75	15.960305	-126.00096	16.959
18124	20.728	-126.35	20.638241	-125.42053	11.161
18125	25.391	-125.32	25.22903	-124.2426	19.507
18126	29.964	-124.34	29.79116	-123.0734	19.721
18127	34.577	-123.11	34.3109	-121.6281	7.5088
18128	39.03	-121.65	38.70415	-119.9144	4.3697
18129	43.534	-120.09	43.09413	-118.1152	7.5118
18130	47.919	-118.42	47.40678	-116.2394	11.388
18131	52.289	-116.54	51.68282	-114.1931	12.724
18132	56.532	-114.51	55.85495	-112.0128	17.545
18133	60.747	-112.32	59.99825	-109.7096	24.228
18134	64.813	-109.94	64.01341	-107.2528	24.198
18135	68.854	-107.47	68.01656	-104.7296	17.535
18136	72.777	-104.84	71.91118	-102.0691	16.75
18137	76.596	-102.06	75.7265	-99.2923	19.04
18138	80.308	-99.12	79.46057	-96.3895	19.796
18139	83.89	-96.05	83.08668	-93.3786	23.715
18140	87.375	-92.832	86.63907	-90.2442	20.817
18141	90.708	-89.507	90.08552	-87.0426	16.21
18142	93.959	-86.039	93.49298	-83.744	12.989
18143	97.049	-82.502	96.78451	-80.3907	13.035
18144	99.927	-78.704	99.882329	-76.7762	8.2675
18145	103	-75.159	103.14793	-73.3976	10.413
18146	105.81	-71.294	106.11938	-69.6611	21.622
18147	108.03	-67.164	108.50213	-65.6224	12.606
18148	110.04	-62.819	110.66543	-61.3549	7.1008
18149	112.63	-58.91	113.42435	-57.5631	15.389
18150	114.79	-54.657	115.78187	-53.4096	12.257
18151	116.58	-50.326	117.7684	-49.161	14.778
18152	118.36	-45.907	119.7325	-44.8251	14.275
18153	119.94	-41.48	121.542	-40.49514	10.027
18154	121.26	-36.917	123.123	-36.021	8.0617
18155	122.53	-32.377	124.6447	-31.55643	12.547
18156	123.6	-27.763	125.9716	-27.01655	20.783
18157	124.47	-23.116	127.1321	-22.43488	20.318
18158	125.17	-18.448	128.1651	-17.83268	12.41
18159	125.66	-13.729	129.0171	-13.17409	12.331
18160	126.11	-9.0474	129.8721	-8.55213	19.436
18161	126.36	-4.2903	130.5388	-3.83195	14.836
18162	126.6	0.38698	131.2026	0.80269	3.5853

ANALISI	IMPLICITO
PROVA	P13_02IMP
PROVA DI ORIGINE	P10_00
CONVERGENZA	SI
Nº LAMINE	5
ORIENTAMENTO DELLE LAMINE	90-90-90-90-90



Calcoloo dello SpringBack:

$(\text{Raggio finale} - \text{Raggio iniziale}) / \text{Raggio iniziale}$

$(\text{diametro finale} - \text{diametro iniziale}) / \text{diametro iniziale} = (121.86 - 126.74) / 126.74 = -3.85\%$

	INIZIALE	FINALE
RAGGIO	126.74	121.86
ANGOLO SINISTRA	86.42°	88.7°
ANGOLO DESTRA	87.17°	92.8°
	Eq.[1]	ANSYS
SPRINGBACK	4.16%	-3.85%

Il signo meno nello springback denota che il legno laminato è stato "chiuso", invece di "aperto". Questo fenomeno è spiegato nella sezione risultati.

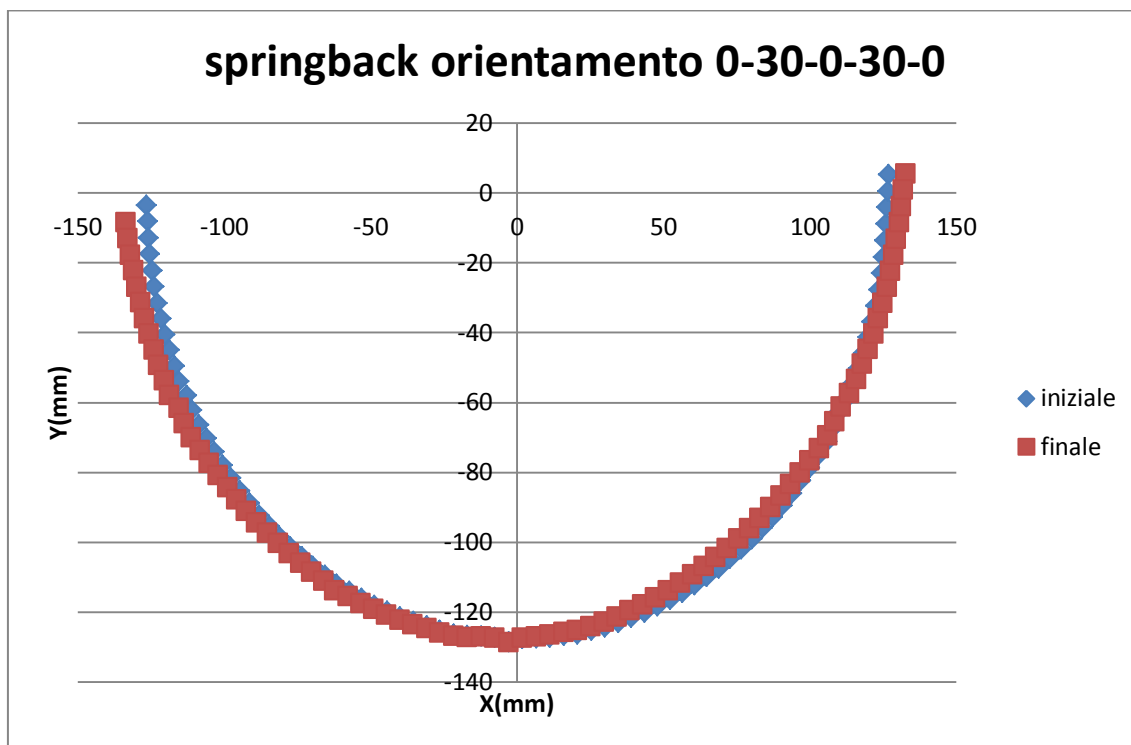
P13_02IMP. Coordinate iniziali e finali una volta che lo springback e fatto. Tensione di Von-Mises equivalente. Dati delle coordinate in (mm), dati delle tensioni in (MPa).

NODE	X	Y	X SPRINGBACK	Y SPRINGBACK	SEQV
18077	-126.46	-3.5958	-129.4655	-8.6099	1.4134
18078	126.83	5.1636	112.755	12.6896	6.3823
18079	-126.18	-8.1982	-129.2506	-13.2175	9.9682
18080	-125.88	-13.027	-128.9371	-18.0504	15.752
18081	-125.35	-17.62	-128.4366	-22.6482	15.951
18082	-124.63	-22.391	-127.7928	-27.4384	20.017
18083	-123.83	-26.958	-126.9014	-31.9896	22.561
18084	-122.73	-31.645	-125.8237	-36.6853	24.589
18085	-121.53	-36.135	-124.5985	-41.1746	28.543
18086	-120.14	-40.728	-123.1954	-45.7705	18.531
18087	-118.59	-45.12	-121.6986	-50.1812	15.108
18088	-116.92	-49.603	-119.9174	-54.61	30.902
18089	-115.31	-53.986	-118.2289	-58.9514	28.222
18090	-112.71	-58.018	-115.1879	-62.7181	16.117
18091	-110.9	-62.323	-113.6767	-67.1657	12.769
18092	-108.56	-66.45	-111.2109	-71.1922	23.754
18093	-105.93	-70.362	-108.3942	-74.9778	21.646
18094	-103.31	-74.283	-105.5395	-78.7391	28.281
18095	-100.46	-78.059	-102.468	-82.3444	24.577
18096	-97.59	-81.794	-99.4362	-85.9694	18.903
18097	-94.54	-85.421	-96.3776	-89.5955	26.195
18098	-91.327	-88.855	-93.0678	-92.9419	12.328
18099	-88.009	-92.254	-89.533	-96.1082	14.345
18100	-84.532	-95.416	-85.8417	-99.0317	20.396
18101	-80.957	-98.558	-82.0755	-101.9416	27.07
18102	-77.304	-101.51	-78.25734	-104.6836	23.576
18103	-73.424	-104.28	-74.24875	-107.2638	28.89
18104	-69.589	-106.98	-70.28699	-109.7854	27.137
18105	-65.542	-109.51	-66.16435	-112.1856	25.986
18106	-61.651	-112.11	-62.2642	-114.7828	30.786
18107	-57.254	-114.07	-57.76893	-116.4647	11.516
18108	-53.091	-116.13	-53.47243	-118.2657	12.868
18109	-48.712	-118.16	-49.02532	-120.0726	9.5713
18110	-44.419	-119.88	-44.66733	-121.7013	15.548
18111	-39.844	-121.48	-40.06556	-123.134	24.7
18112	-35.43	-122.78	-35.56728	-124.2493	25.203
18113	-30.729	-124.04	-30.86793	-125.4195	9.9352
18114	-26.305	-125.22	-26.404921	-126.53	14.475
18115	-21.553	-126.36	-21.634128	-127.4506	9.6895
18116	-16.994	-126.81	-17.024534	-127.62554	15.456
18117	-12.091	-126.86	-12.146528	-127.37025	15.112

18118	-7.5393	-127.28	-7.549995	-127.52069	20.265
18119	-2.7688	-128.65	-2.75862	-128.65	14.194
18120	1.8844	-127.64	1.862381	-127.64	17.194
18121	6.6441	-127.56	6.60384	-127.29725	36.462
18122	11.311	-127.23	11.284392	-126.73548	39.689
18123	16.057	-126.75	15.984351	-126.10594	39.943
18124	20.728	-126.35	20.668748	-125.53095	21.521
18125	25.391	-125.32	25.27541	-124.42398	17.944
18126	29.964	-124.34	29.867282	-123.36664	15.546
18127	34.577	-123.11	34.39686	-121.9782	16.812
18128	39.03	-121.65	38.81493	-120.3428	7.421
18129	43.534	-120.09	43.22511	-118.5883	19.272
18130	47.919	-118.42	47.56238	-116.7344	19.255
18131	52.289	-116.54	51.83826	-114.6853	19.85
18132	56.532	-114.51	56.00587	-112.4626	23.89
18133	60.747	-112.32	60.08255	-110.0471	24.808
18134	64.813	-109.94	64.04376	-107.4649	21.783
18135	68.854	-107.47	67.92072	-104.762	22.324
18136	72.777	-104.84	71.672	-101.8703	23.723
18137	76.596	-102.06	75.3072	-98.8624	20.388
18138	80.308	-99.12	78.8137	-95.6675	26.269
18139	83.89	-96.05	82.1639	-92.3372	26.004
18140	87.375	-92.832	85.3609	-88.8285	25.013
18141	90.708	-89.507	88.386	-85.2118	26.913
18142	93.959	-86.039	91.3304	-81.4726	
18143	97.049	-82.502	94.1098	-77.6831	12.938
18144	99.927	-78.704	96.6498	-73.6502	11.055
18145	103	-75.159	99.3288	-69.8002	12.549
18146	105.81	-71.294	101.7134	-65.66	9.1654
18147	108.03	-67.164	103.4305	-61.2957	6.4259
18148	110.04	-62.819	104.9282	-56.7523	13.025
18149	112.63	-58.91	107.1517	-52.6331	16.737
18150	114.79	-54.657	108.9063	-48.193	7.4285
18151	116.58	-50.326	110.1091	-43.6619	18.029
18152	118.36	-45.907	111.2371	-39.036	13.992
18153	119.94	-41.48	112.294	-34.4577	10.267
18154	121.26	-36.917	113.0841	-29.771	21.435
18155	122.53	-32.377	113.7383	-25.1011	22.542
18156	123.6	-27.763	114.1579	-20.3749	28.089
18157	124.47	-23.116	114.392	-15.6477	28.493
18158	125.17	-18.448	114.389	-10.9243	14.366
18159	125.66	-13.729	114.197	-6.181	6.4286
18160	126.11	-9.0474	114.07	-1.4804	8.2163
18161	126.36	-4.2903	113.655	3.2648	8.3318
18162	126.6	0.38698	113.209	7.92878	5.6797

ANALISI	IMPLICITO
PROVA	P13_03IMP
PROVA DI ORIGINE	P10_00
CONVERGENZA	SI
N° LAMINE	5
ORIENTAMENTO DELLE LAMINE	0-30-0-30-0

Create and Modify Shell Sections					Name	ID
					5LAMINAS	1
	Thickness	Material ID	Orientation	Integration Pts	Pictorial View	
9	0.6	1	0	3		
8	0.05	2	0	3		
7	0.6	1	30	3		
6	0.05	2	0	3		
5	0.6	1	0	3		
4	0.05	2	0	3		
3	0.6	1	30	3		
2	0.05	2	0	3		
1	0.6	1	0	3		



Calcolo dello SpringBack:

$(\text{Raggio finale} - \text{Raggio iniziale}) / \text{Raggio iniziale}$

$(\text{diametro finale} - \text{diametro iniziale}) / \text{diametro iniziale} = (133.5 - 126.74) / 126.74 = 5.33\%$

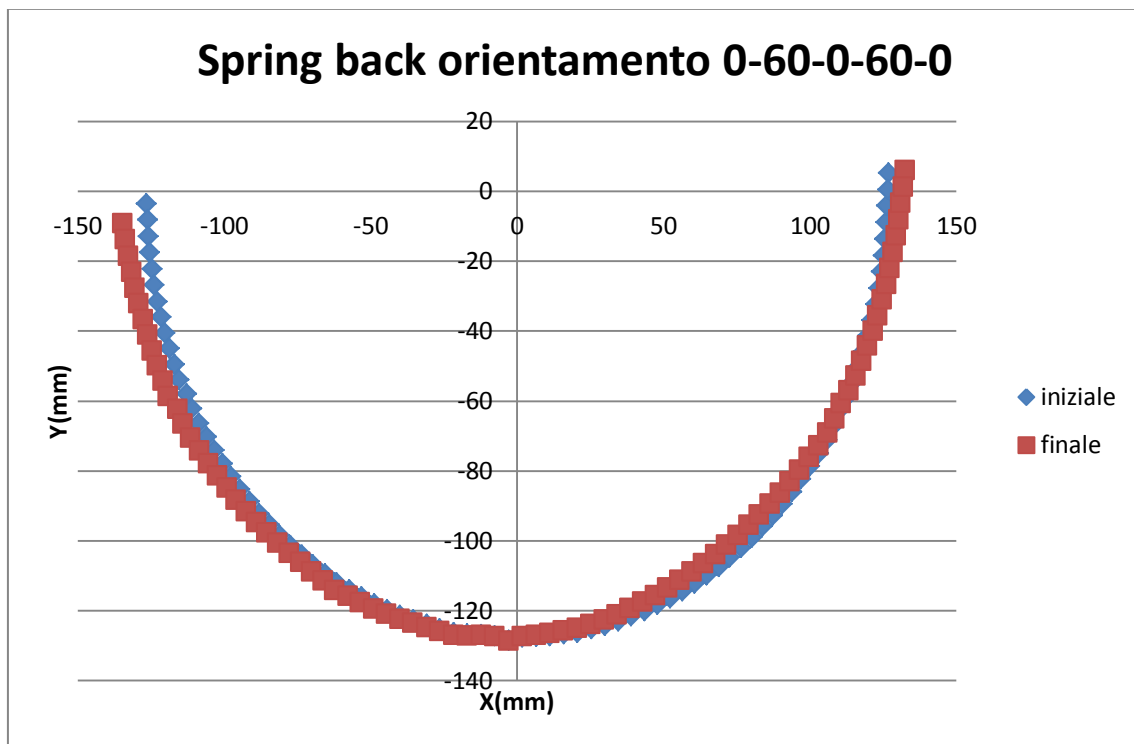
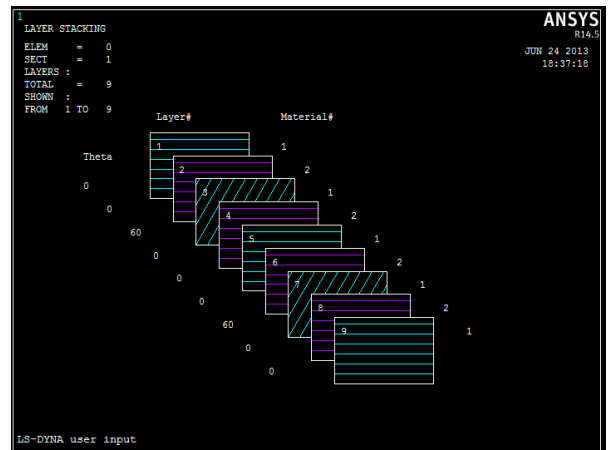
	INIZIALE	FINALE
RAGGIO	126.74	133.5
ANGOLO SINISTRA	86.42°	79.4°
ANGOLO DESTRA	87.17°	81°
	Eq.[1]	ANSYS
SPRINGBACK	4.16%	5.33%

P13_03IMP. Coordinate iniziali e finali una volta che lo springback e fatto. Tensione di Von-Mises equivalente. Dati delle coordinate in (mm), dati delle tensioni in (MPa).

NODE	X	Y	X SPRINGBACK	Y SPRINGBACK	SEQV
18077	-126.46	-3.5958	-133.5918	-8.5892	8.4457
18078	126.83	5.1636	132.7225	5.36371	6.4627
18079	-126.18	-8.1982	-132.7673	-13.1334	15.568
18080	-125.88	-13.027	-131.8942	-17.8865	17.6
18081	-125.35	-17.62	-130.916	-22.402	14.349
18082	-124.63	-22.391	-129.7785	-27.0825	22.905
18083	-123.83	-26.958	-128.5286	-31.5439	24.011
18084	-122.73	-31.645	-127.104	-36.1347	21.071
18085	-121.53	-36.135	-125.6049	-40.525	20.012
18086	-120.14	-40.728	-123.9885	-45.0401	12.933
18087	-118.59	-45.12	-122.2776	-49.3719	24.414
18088	-116.92	-49.603	-120.3956	-53.7846	20.989
18089	-115.31	-53.986	-118.5763	-58.0963	4.9491
18090	-112.71	-58.018	-115.4809	-61.792	8.9088
18091	-110.9	-62.323	-113.6765	-66.1224	13.47
18092	-108.56	-66.45	-111.1299	-70.1245	9.1577
18093	-105.93	-70.362	-108.1092	-73.7736	15.445
18094	-103.31	-74.283	-105.1579	-77.452	6.0142
18095	-100.46	-78.059	-101.9926	-80.9483	5.0323
18096	-97.59	-81.794	-98.8483	-84.4503	16.054
18097	-94.54	-85.421	-95.702	-87.9798	11.341
18098	-91.327	-88.855	-92.3461	-91.2872	6.0738
18099	-88.009	-92.254	-88.85656	-94.507	9.2549
18100	-84.532	-95.416	-85.21154	-97.4705	24.195
18101	-80.957	-98.558	-81.50466	-100.449	24.561
18102	-77.304	-101.51	-77.78306	-103.3009	23.36
18103	-73.424	-104.28	-73.86805	-106.0167	25.546
18104	-69.589	-106.98	-70.03361	-108.7057	15.148
18105	-65.542	-109.51	-66.01105	-111.2682	40.825
18106	-61.651	-112.11	-62.15591	-113.9368	23.845
18107	-57.254	-114.07	-57.65039	-115.6736	13.097
18108	-53.091	-116.13	-53.37861	-117.5198	4.6678
18109	-48.712	-118.16	-48.92874	-119.3394	8.8746
18110	-44.419	-119.88	-44.56044	-120.9044	19.936
18111	-39.844	-121.48	-39.96345	-122.35744	21.86
18112	-35.43	-122.78	-35.504961	-123.57133	13.135
18113	-30.729	-124.04	-30.823878	-124.78937	8.5143
18114	-26.305	-125.22	-26.368759	-125.94769	12.939
18115	-21.553	-126.36	-21.610481	-126.98655	22.542
18116	-16.994	-126.81	-17.011728	-127.26267	9.8451
18117	-12.091	-126.86	-12.11317	-127.14249	11.706

18118	-7.5393	-127.28	-7.5482215	-127.41926	11.143
18119	-2.7688	-128.65	-2.75004	-128.78631	30.123
18120	1.8844	-127.64	1.8778142	-127.51481	23.871
18121	6.6441	-127.56	6.592896	-127.19434	11.384
18122	11.311	-127.23	11.255941	-126.60541	11.914
18123	16.057	-126.75	15.94638	-125.92346	14.525
18124	20.728	-126.35	20.62659	-125.328	11.017
18125	25.391	-125.32	25.21325	-124.1382	21.031
18126	29.964	-124.34	29.77005	-122.9378	18.692
18127	34.577	-123.11	34.27646	-121.454	4.5506
18128	39.03	-121.65	38.65812	-119.7089	5.3337
18129	43.534	-120.09	43.03599	-117.8839	6.629
18130	47.919	-118.42	47.33916	-115.9893	10.599
18131	52.289	-116.54	51.60701	-113.9283	13.521
18132	56.532	-114.51	55.77255	-111.7356	19.586
18133	60.747	-112.32	59.91205	-109.4295	26.438
18134	64.813	-109.94	63.92931	-106.9768	25.137
18135	68.854	-107.47	67.93316	-104.459	17.329
18136	72.777	-104.84	71.8335	-101.8078	17.898
18137	76.596	-102.06	75.65614	-99.0434	19.369
18138	80.308	-99.12	79.39919	-96.1556	20.428
18139	83.89	-96.05	83.03779	-93.1594	23.991
18140	87.375	-92.832	86.60394	-90.0459	18.937
18141	90.708	-89.507	90.07154	-86.8675	14.782
18142	93.959	-86.039	93.50221	-83.5966	11.889
18143	97.049	-82.502	96.82154	-80.2715	13.619
18144	99.927	-78.704	99.948668	-76.6803	8.8734
18145	103	-75.159	103.23549	-73.3257	12.617
18146	105.81	-71.294	106.22839	-69.6025	22.328
18147	108.03	-67.164	108.62435	-65.5714	10.133
18148	110.04	-62.819	110.81413	-61.3177	9.3168
18149	112.63	-58.91	113.60686	-57.5499	14.32
18150	114.79	-54.657	115.9894	-53.4106	13.161
18151	116.58	-50.326	117.9893	-49.1685	15.905
18152	118.36	-45.907	119.985	-44.8472	14.019
18153	119.94	-41.48	121.8388	-40.53634	11.635
18154	121.26	-36.917	123.4625	-36.0789	9.1211
18155	122.53	-32.377	125.0236	-31.62876	13.965
18156	123.6	-27.763	126.4006	-27.10461	21.97
18157	124.47	-23.116	127.6156	-22.53721	21.54
18158	125.17	-18.448	128.7021	-17.94808	12.599
18159	125.66	-13.729	129.6189	-13.30231	13.499
18160	126.11	-9.0474	130.5402	-8.6921	19.521
18161	126.36	-4.2903	131.2681	-3.98235	10.965
18162	126.6	0.38698	131.9917	0.64202	5.0278

ANALISI	IMPLICITO
PROVA	P13_04IMP
PROVA DI ORIGINE	P10_00
CONVERGENZA	SI
Nº LAMINE	5
ORIENTAMENTO LAMINE	0-60-0-60-0



Calcolo dello SpringBack:

$(\text{Raggio finale} - \text{Raggio iniziale}) / \text{Raggio iniziale}$

$(\text{diametro finale} - \text{diametro iniziale}) / \text{diametro iniziale} = (133 - 126.74) / 126.74 = 4.94\%$

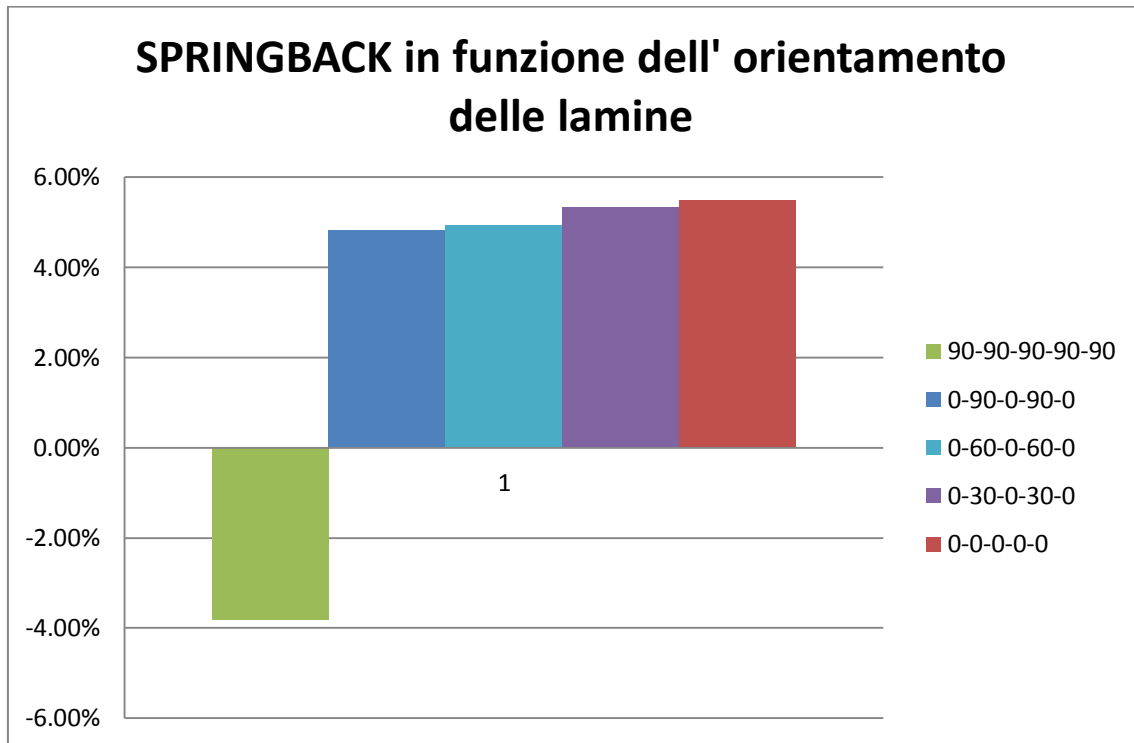
	INIZIALE	FINALE
RAGGIO	126.74	133
ANGOLO SINISTRA	86.42°	78.5°
ANGOLO DESTRA	87.17°	81°
	Eq.[1]	ANSYS
SPRINGBACK	4.16%	4.94%

P13_04IMP. Coordinate iniziali e finali una volta che lo springback e fatto. Tensione di Von-Mises equivalente. Dati delle coordinate in (mm), dati delle tensioni in (MPa).

NODE	X	Y	X SPRINGBACK	Y SPRINGBACK	SEQV
18077	-126.46	-3.5958	-134.536	-9.4051	7.8602
18078	126.83	5.1636	132.6382	5.78454	7.7449
18079	-126.18	-8.1982	-133.6444	-13.9371	15.108
18080	-125.88	-13.027	-132.6961	-18.6743	17.764
18081	-125.35	-17.62	-131.6586	-23.1763	13.656
18082	-124.63	-22.391	-130.4664	-27.841	22.925
18083	-123.83	-26.958	-129.1484	-32.2831	25.914
18084	-122.73	-31.645	-127.6778	-36.8567	22.175
18085	-121.53	-36.135	-126.1325	-41.2318	22.214
18086	-120.14	-40.728	-124.4845	-45.7325	14.773
18087	-118.59	-45.12	-122.757	-50.0584	25.325
18088	-116.92	-49.603	-120.8474	-54.4585	24.593
18089	-115.31	-53.986	-119.0028	-58.7619	5.01
18090	-112.71	-58.018	-115.8423	-62.4088	12.274
18091	-110.9	-62.323	-114.0607	-66.751	14.336
18092	-108.56	-66.45	-111.4751	-70.7298	11.629
18093	-105.93	-70.362	-108.4079	-74.3447	17.559
18094	-103.31	-74.283	-105.4215	-77.9875	3.8363
18095	-100.46	-78.059	-102.2107	-81.4509	4.879
18096	-97.59	-81.794	-99.0372	-84.9133	15.389
18097	-94.54	-85.421	-95.8759	-88.4367	12.897
18098	-91.327	-88.855	-92.5092	-91.7272	6.4938
18099	-88.009	-92.254	-88.9954	-94.9248	8.9413
18100	-84.532	-95.416	-85.32748	-97.856	23.241
18101	-80.957	-98.558	-81.59866	-100.8059	25.204
18102	-77.304	-101.51	-77.86309	-103.6377	23.254
18103	-73.424	-104.28	-73.94181	-106.3376	26.057
18104	-69.589	-106.98	-70.10439	-109.0274	18.089
18105	-65.542	-109.51	-66.09343	-111.5973	47.312
18106	-61.651	-112.11	-62.24026	-114.2768	25.987
18107	-57.254	-114.07	-57.7216	-115.9798	14.233
18108	-53.091	-116.13	-53.43383	-117.7866	7.4521
18109	-48.712	-118.16	-48.96691	-119.5655	8.4646
18110	-44.419	-119.88	-44.58984	-121.1007	21.044
18111	-39.844	-121.48	-39.98248	-122.5224	23.216
18112	-35.43	-122.78	-35.519334	-123.70895	13.551
18113	-30.729	-124.04	-30.83429	-124.91447	10.705
18114	-26.305	-125.22	-26.376214	-126.06439	14.856
18115	-21.553	-126.36	-21.614741	-127.08491	21.529
18116	-16.994	-126.81	-17.014892	-127.33412	10.074
18117	-12.091	-126.86	-12.115138	-127.18086	10.815

18118	-7.5393	-127.28	-7.5479435	-127.43579	13.015
18119	-2.7688	-128.65	-2.742247	-128.79675	30.409
18120	1.8844	-127.64	1.8801982	-127.50402	26.237
18121	6.6441	-127.56	6.585718	-127.15119	15.655
18122	11.311	-127.23	11.243251	-126.52734	14.593
18123	16.057	-126.75	15.92817	-125.82234	17.786
18124	20.728	-126.35	20.60587	-125.2034	13.788
18125	25.391	-125.32	25.18424	-123.999	23.518
18126	29.964	-124.34	29.74156	-122.7813	20.904
18127	34.577	-123.11	34.23328	-121.2671	5.3838
18128	39.03	-121.65	38.60592	-119.4847	4.7489
18129	43.534	-120.09	42.96309	-117.6276	6.1442
18130	47.919	-118.42	47.2572	-115.7007	10.124
18131	52.289	-116.54	51.50565	-113.6137	11.891
18132	56.532	-114.51	55.65862	-111.3909	18.308
18133	60.747	-112.32	59.77806	-109.0575	26.314
18134	64.813	-109.94	63.7827	-106.5825	25.874
18135	68.854	-107.47	67.7711	-104.0446	17.338
18136	72.777	-104.84	71.6581	-101.3748	17.06
18137	76.596	-102.06	75.4692	-98.5957	19.639
18138	80.308	-99.12	79.2024	-95.698	20.621
18139	83.89	-96.05	82.8328	-92.6926	24.236
18140	87.375	-92.832	86.39164	-89.5726	18.628
18141	90.708	-89.507	89.85652	-86.3931	13.706
18142	93.959	-86.039	93.29059	-83.1268	11.502
18143	97.049	-82.502	96.61671	-79.8111	14.28
18144	99.927	-78.704	99.75727	-76.2309	11.41
18145	103	-75.159	103.052595	-72.885	11.493
18146	105.81	-71.294	106.05133	-69.1664	24.731
18147	108.03	-67.164	108.44371	-65.1315	12.227
18148	110.04	-62.819	110.62407	-60.8727	10.305
18149	112.63	-58.91	113.4196	-57.1053	16.142
18150	114.79	-54.657	115.8132	-52.9748	13.834
18151	116.58	-50.326	117.8121	-48.7304	17.01
18152	118.36	-45.907	119.7973	-44.4052	13.314
18153	119.94	-41.48	121.6489	-40.0929	11.63
18154	121.26	-36.917	123.2735	-35.6363	11.379
18155	122.53	-32.377	124.8303	-31.186	14.986
18156	123.6	-27.763	126.2046	-26.661	22.592
18157	124.47	-23.116	127.4258	-22.0975	21.742
18158	125.17	-18.448	128.5178	-17.50908	12.762
18159	125.66	-13.729	129.4419	-12.86638	14.577
18160	126.11	-9.0474	130.3825	-8.26032	22.636
18161	126.36	-4.2903	131.1321	-3.55326	12.895
18162	126.6	0.38698	131.88	1.06717	5.0737

C.10.4 Risultati Blocco di prove 2: influenza dell'orientamento delle lamine nello sprinback del legno laminato.



Come è spiegato prima a causa della struttura ortotropica del legno a diversi orientamenti sono ottenuti diversi valori di ritorno elastico.

Caso 0-0-0-0-0 : i cinque fogli sono orientati nella direzione longitudinale, cioè il componente con il più alto modulo di elasticità ($E_x = 1.370$ [MPa] nel nostro caso) è orientato nella direzione longitudinale. Questo produce una maggiore resistenza al curvato e quindi più espringback_è ottenuto.

Caso 0-30-0-30-0: tre fogli sono orientati nella direzione longitudinale. 2 lamine sono orientate a 30° rispetto alla direzione longitudinale, in modo che il modulo elastico di questi due fogli nella direzione longitudinale viene $\cos(30)E_x + \cos(60)E_y$. Per questo motivo la resistenza alla flessione nel verso longitudinale sarà minore rispetto a suo caso precedente.

Caso 0-60-0-60-0: tre fogli sono orientati nella direzione longitudinale. 2 lamine sono orientate a 30° rispetto alla direzione longitudinale, in modo che il modulo elastico di questi due fogli nella direzione longitudinale viene $\cos(60)E_x + \cos(30)E_y$. Per questo motivo la resistenza alla flessione nel verso longitudinale sarà minore rispetto a suo caso precedente.

Caso 0-90-0-90-0: 3 fogli sono orientati nella direzione longitudinale. 2 fogli sono orientati in la direzione trasversale, cioè il suo modulo di elasticità è il più basso ($E_y = 2.240$ [MPa] nel nostro caso). Inoltre qualsiasi componente del modulo elastico longitudinale di questi due fogli non sono coinvolti nella flessione in direzione longitudinale.

Caso 90-90-90-90-90: tutte le lamine sono curvati nella direzione trasversale, in modo che il suo ritorno elastico deve essere il più piccolo di tutti. Nell'analizzare questo caso ANSYS ha raggiunto a una soluzione inaspettata. Al risolvere il rilassamento delle lamine di legno ha prodotto più curvo (il legno laminato è stato chiuso) invece di "aprire". Questo fenomeno è stato visto in test di laboratorio, ma i processi di riduzione a causa della perdita di umidità e non a causa di processi dello sprinback. Pertanto si presume che questo caso non viene risolto correttamente e non viene presa in considerazione.

PROVE	ORIENTAMENTO LAMINE	SPRINGBACK ANSYS
P13_00	0-90-0-90-0	4.82%
P13_01	0-0-0-0-0	5.50%
P13_02	90-90-90-90-90	* -3.82%
P13_03	0-30-0-30-0	5.33%
P13_04	0-60-0-60-0	4.94%

* Non viene considerato

Orientamento e il numero di lamine: sotto è uno studio teorico che io ho fatto per vedere l'influenza dell'orientamento sul ritorno elastico in legno laminato con diversi numero di laminte, si avrà i seguenti dati.

E_x :13700 [MPa], $E_{transversal}$: 2240 [MPa]

Si vuole calcolare il modulo di elasticità medio per una serie di lamine nella direzione del curvato, esempio:

3 lamine orientate secondo 0-90-0. Suo modulo di elasticità medio será :
 $(2*13700+2240)/3= 9880 \text{ MPa}$.

il modulo di elasticità è andato di 13700 en un'orentamento 0-0-0 a 9880 en un'orentamento 0-90-0.

LAMINE	ORIENTAMENTO	MODULO ELAST. MEDIO (MPa)
3	0-0-0	13700
3	0-90-0	9800
4	0-0-0-0	13700
4	0-90-0-90	7970
5	0-0-0-0-0	13700
5	0-90-0-90-0	9116
6	0-0-0-0-0-0	13700
6	0-90-0-90-0-90	7970
7	0-0-0-0-0-0-0	13700
7	0-90-0-90-0-90-0	8788
9	0-0-0-0-0-0-0-0-0	13700
9	0-90-0-90-0-90-0-90-0	8606

Questa tabella mostra che l'orientamento dei fogli ha molta più importanza nel ritorno elastico in un set di numero pari di lamine che un altro di numero dispari di lamine.

C.10.5 Conclusioni Blocco prove 2

- È stato modellato con buoni risultati lo sprinback per diverso orientamento delle lamine.
- Il migliore orientamento delle lamine con lo scopo di diminuire il recupero elastico ma non attivano ridurre notevolmente la resistenza del laminato è un gruppo a strati dispari cui orientamento delle lamine è alternativamente da 0 ° a 90 °.
- L'orientamento dei fogli ha molto maggiore influenza sul lo springback in legno laminato di numero pari di lamine che in un set di numero dispari di strati.

C.11 BLOCCO DI PROVE 3: INFLUENZA DELLA TENSIONE DI SNERVAMENTO DEL LEGNO A TRAZIONE

Ogni legno ha determinate caratteristiche, cioè, ha certe proprietà fisiche, proprietà meccaniche. Pertanto, ogni tipo di legno ha una moduli elastici, Poisson coefficienti e ha diversi moduli trasversali. Questa sezione cerca di quantificare l'influenza della resistenza allo snervamento del legno laminato nel calcolo del ritorno elastico o springback

Si ha determinato che parametri quali il modulo elastico, coefficienti di Poisson, o moduli trasversali sono meno importanti che il limite elastico del ritorno elastico.

Le prove fatte fino ora sono state fatte con i coefficienti cerrestondenti al faggio, qui caratteristiche sono le seguente:

CARATTERISTICHE	DESCRIZIONE	VALORE
DENS	Densità [Kg/mm ²]	7.5E-7
E _x	Modulo elastico X [MPa]	13700
E _y	Modulo elastico Y [MPa]	2240
E _z	Modulo elastico Z [MPa]	1140
NUXY	Coefficiente di Poisson	0.073
NUYZ	Coefficiente di Poisson	0.36
NUXZ	Coefficiente di Poisson	0.044
GXY	Modulo trasversale [MPa]	1610
GYZ	Modulo trasversale [MPa]	460
GXZ	Modulo trasversale [MPa]	1060

Con l'obiettivo di generalizzare i dati ad altri legni, come il ciliegio, è stato modificato la tensione di snervamento.

C.11.1 Ipotesi

Per semplificare i calcoli, e poiché il parametro caratteristico del legno laminato più influente è la tensione di snervamento viene assunto che l'unica differenza tra una classe e un'altra di legname è la sua tensione di snervamento. Pertanto i coefficienti di cui sopra rimarranno invariati.

C.11.2 Obiettivi

Generalizzare i calcoli ottenuti a tutti i legni, indipendentemente dalla sua tensione di snervamento. Questo vi darà alcune linee guida che cambieranno l'equazione Ingleaterra Istituto Forestale.

C.11.3 Metodología

Test espliciti vengono effettuati con i limiti elastici per legni diversi. Si fa anche il corrispondente analisi implicito e confrontato di dati.

La seguente tabella si specifica le prove e le corrispondenti tensioni di snervamento a studio:

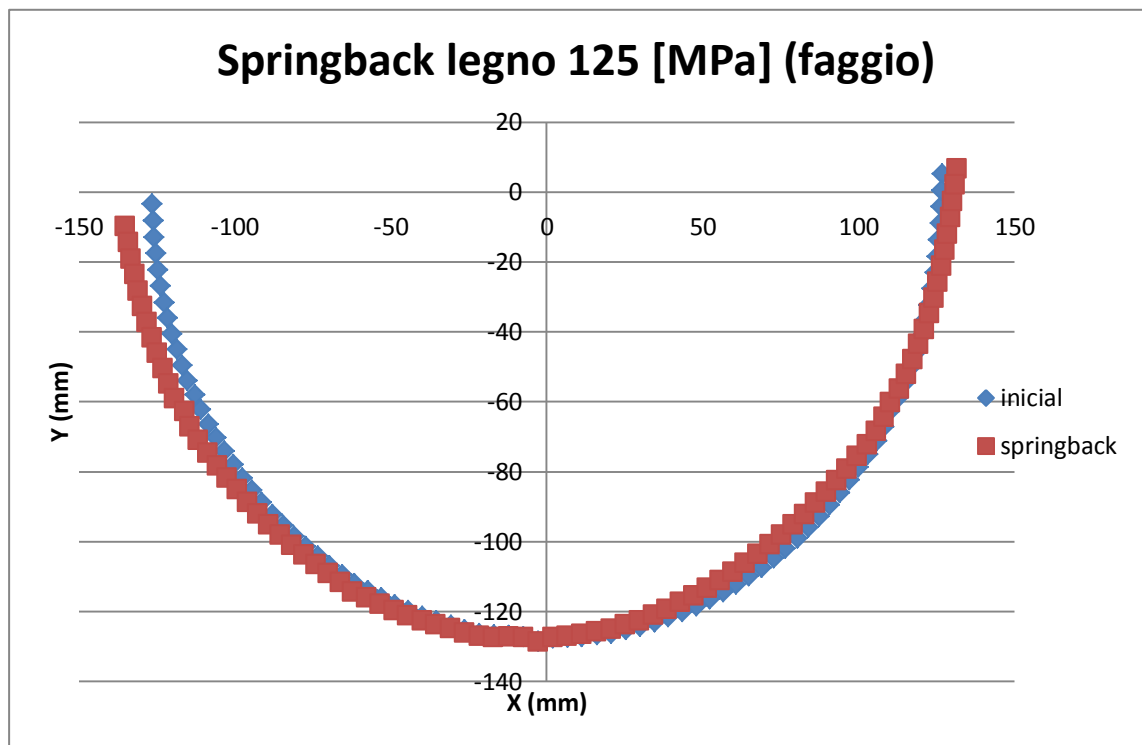
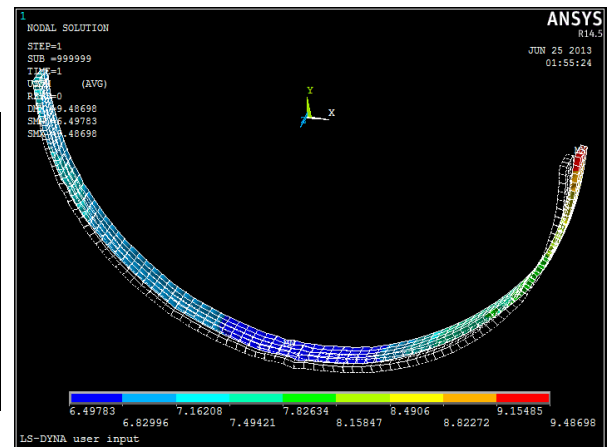
LEGNO	TENSIONE SNERVAMENTO (MPa)
Abete rosso	74
pino silvestre	93
Larice	100
abete	74
Maple	76
rovere	101
Cenere	120
Faggio	125
ciliegio	83

n considerazione della tabella di cui sopra saranno testati con 83,93,125,120 MPa di snervamento per il ciliegio, pino, faggio e cenere, rispettivamente.

PROVA	LEGNO
14_00IMP	FAGGIO
14_01IMP	CILIEGIO
14_02IMP	PINO
14_03IMP	CENERE

C.11.4 Prove Blocco 3

ANALISI	IMPLICITO
PROVA	P14_00IMP
PROVA DI ORIGINE	P10_00
CONVERGENZA	SI
Nº LAMINE	5
ORIENTAMENTO LAMINE	0-90-0-90-0
TENSIONE SNERVAMENTO [MPa]	125
MATERIALE	FAGGIO



Calcolo dello SpringBack:

$(\text{Raggio finale} - \text{Raggio iniziale}) / \text{Raggio iniziale}$

$(\text{diametro finale} - \text{diametro iniziale}) / \text{diametro iniziale} = (133.5777 - 127.4358) / 127.4358 = 4.8196\%$

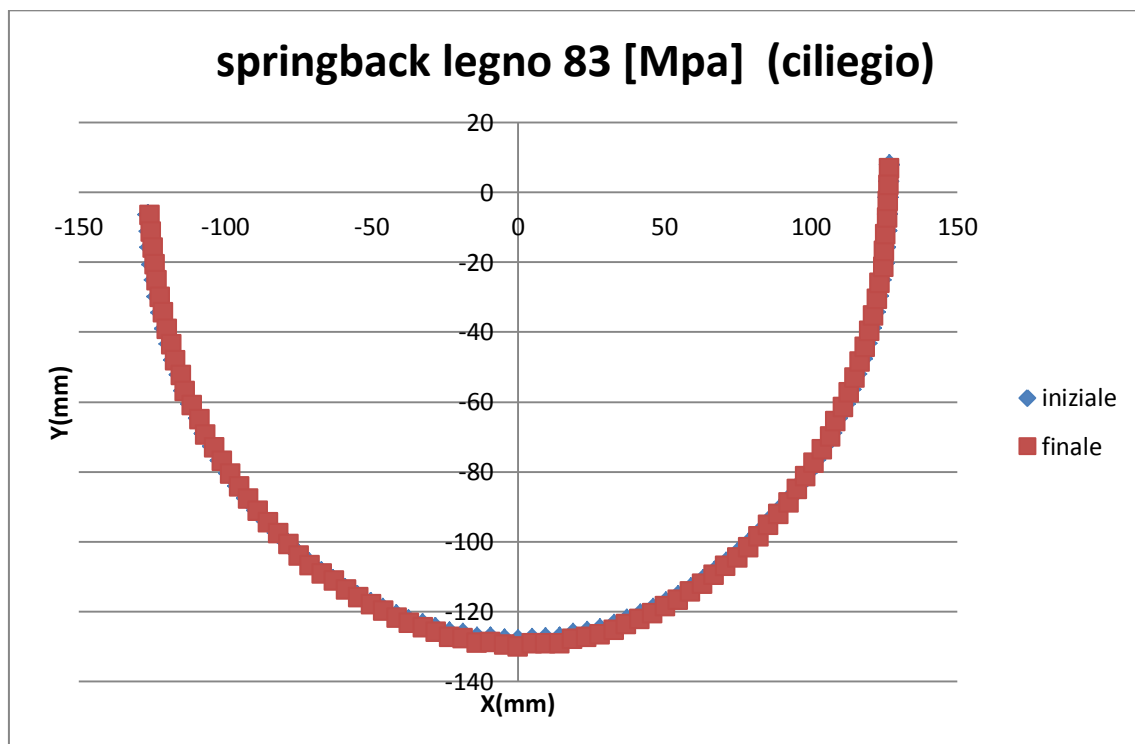
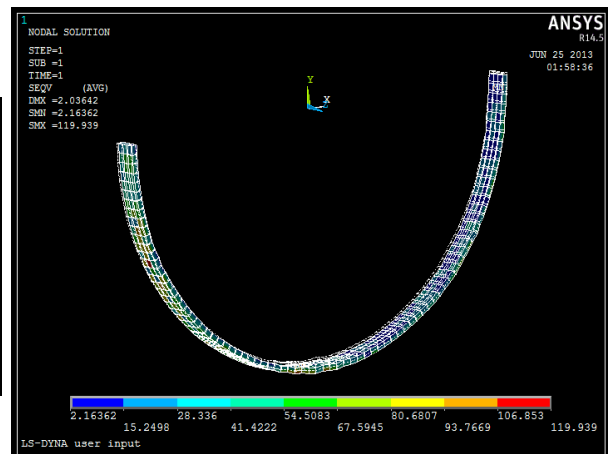
	INIZIALE	FINALE
RAGGIO	127.43	133.5777
ANGOLO SINISTRA	86.8°	84.7°
ANGOLO DESTRA	81.253°	81.778
	Eq.[1]	ANSYS
SPRINGBACK	4.16%	4.819%

P14_00IMP. Coordinate iniziali e finali una volta che lo springback e fatto. Tensione di Von-Mises equivalente. Dati delle coordinate in (mm), dati delle tensioni in (MPa).

NODE	X INIZIALE	Y INIZIALE	X FINALE	Y FINALE	SEQV
18077	-126,457858	-3,59576167	-135,139458	-9,97136167	6,1121000
18078	126,829996	5,16360559	131,527196	6,62830559	7,5834000
18079	-126,179576	-8,19822884	-134,222476	-14,4985288	12,9090000
18080	-125,883583	-13,0269276	-133,247183	-19,2269276	17,4570000
18081	-125,345949	-17,6202128	-132,172549	-23,7252128	
18082	-124,628443	-22,3909653	-130,960943	-28,3805653	21,3310000
18083	-123,826697	-26,9582589	-129,605797	-32,8145589	24,6880000
18084	-122,730775	-31,644701	-128,109275	-37,376301	21,3240000
18085	-121,528944	-36,1346095	-126,530844	-41,7406095	22,5100000
18086	-120,136357	-40,7282671	-124,849457	-46,2307671	16,1330000
18087	-118,590289	-45,1202378	-123,111089	-50,5493378	25,9440000
18088	-116,915409	-4,96E+01	-121,179209	-54,9431488	27,0330000
18089	-115,305861	-53,9864396	-119,321761	-59,2398396	5,3147000
18090	-112,712552	-58,0181004	-116,119952	-62,8516004	13,1590000
18091	-110,895068	-62,3228466	-114,349168	-67,2004466	13,0080000
18092	-108,564622	-66,4501354	-111,753422	-71,1693354	12,9960000
18093	-105,931792	-70,3624097	-108,658392	-74,7635097	20,1750000
18094	-103,305046	-74,2825934	-105,644446	-78,3892934	2,2690000
18095	-100,461042	-78,0593242	-102,410342	-81,8275242	5,7814000
18096	-97,58958	-81,7936686	-99,21028	-85,2657686	15,3120000
18097	-94,5398462	-85,4211167	-96,0354462	-88,7770167	16,8040000
18098	-91,3269715	-88,8551407	-92,6554715	-92,0543407	8,6454000
18099	-88,0091203	-92,2544627	-89,1262203	-95,2364627	9,0045000
18100	-84,5323058	-95,415589	-85,4390258	-98,143489	
18101	-80,9566064	-98,5578587	-81,6917364	-101,066259	26,0320000
18102	-77,3038692	-101,509871	-77,9340592	-103,876771	24,1570000
18103	-73,4242957	-104,284829	-74,0026057	-106,553629	27,9190000
18104	-69,5892276	-106,977604	-70,1470176	-109,220904	13,2820000
18105	-65,5417967	-109,511928	-66,1387667	-111,790228	46,2840000
18106	-61,650659	-112,10934	-62,287889	-114,48414	29,2250000
18107	-57,2538054	-114,073369	-57,7710754	-116,178769	15,9190000
18108	-53,090564	-116,127795	-53,472874	-117,967195	10,2290000
18109	-48,7118622	-118,160186	-48,9988322	-119,720086	6,8724000
18110	-44,4193444	-119,879766	-44,6139744	-121,236666	21,0580000
18111	-39,8435533	-121,479922	-40,0005233	-122,640622	24,9670000
18112	-35,4298554	-122,780515	-35,5304554	-123,803415	15,1670000
18113	-30,7288889	-124,03502	-30,8416989	-124,98935	
18114	-26,304829	-125,216714	-26,385151	-126,140624	16,5430000
18115	-21,5527259	-126,363068	-21,6152049	-127,161648	20,1180000
18116	-16,9942472	-126,813687	-17,0200112	-127,399387	9,2170000
18117	-12,0907028	-126,85877	-12,1177158	-127,2203	12,4190000

18118	-7,53932852	-127,279198	-7,54973052	-127,457148	11,7980000
18119	-2,7687983	-128,649024	-2,7361713	-128,807114	30,0500000
18120	1,88439521	-127,644375	1,88265981	-127,505275	28,6350000
18121	6,64408928	-127,559144	6,58617628	-127,137744	17,7560000
18122	11,3110045	-127,233034	11,2379035	-126,484474	17,2700000
18123	16,0569728	-126,754206	15,9195128	-125,761946	21,8900000
18124	20,7276246	-126,349216	20,5927446	-125,118116	14,8590000
18125	25,3912695	-125,31813	25,1691295	-123,89603	23,9210000
18126	29,9640334	-124,336812	29,7205634	-122,669312	23,2230000
18127	34,576669	-123,108073	34,209029	-121,139373	9,1409000
18128	39,0295681	-121,652248	38,5717781	-119,335748	3,1501000
18129	43,5342651	-120,090639	42,9157451	-117,448039	6,6005000
18130	47,9187947	-118,42246	47,1995447	-115,49706	11,4720000
18131	52,2892634	-116,538429	51,4338534	-113,382329	11,0110000
18132	56,5324804	-114,51322	55,5756304	-111,13882	
18133	60,7474124	-112,323433	59,6757124	-108,777533	25,3340000
18134	64,8131151	-109,941253	63,6647151	-106,272753	25,5780000
18135	68,8538502	-107,469285	67,6343502	-103,706285	16,9340000
18136	72,7765322	-104,840184	71,5003322	-101,006784	15,4810000
18137	76,5955182	-102,05642	75,2912182	-98,1979201	18,4870000
18138	80,3077778	-99,1198686	79,0047778	-95,2766686	19,7490000
18139	83,8897815	-96,0502669	82,6122815	-92,2467669	23,6170000
18140	87,375129	-92,8317928	86,149529	-89,0994928	18,6410000
18141	90,7083473	-89,507422	89,5894473	-85,895022	12,9720000
18142	93,9590471	-86,0386695	93,0019271	-82,6054695	
18143	97,0486658	-82,5019571	96,3065758	-79,2673571	
18144	99,9269589	-78,7038074	99,4261989	-75,6717074	
18145	103,002816	-75,1590153	102,708626	-72,3049153	9,7956000
18146	105,809972	-71,2936439	105,678832	-68,5702439	26,2380000
18147	108,028382	-67,1638851	108,040138	-64,5156851	
18148	110,035385	-62,8194809	110,172635	-60,2357809	7,9609000
18149	112,634667	-58,909935	112,942587	-56,438835	16,4970000
18150	114,786028	-54,656763	115,297838	-52,294363	13,7440000
18151	116,583536	-50,3262869	117,275216	-48,0356869	18,8700000
18152	118,355016	-45,9069609	119,206436	-43,6907609	15,5620000
18153	119,943269	-41,4796778	121,026369	-39,3607778	9,3968000
18154	121,261574	-36,9172952	122,610074	-34,8901952	10,3870000
18155	122,529685	-32,3768148	124,118785	-30,4236148	13,6910000
18156	123,596739	-27,7633273	125,436439	-25,8837273	22,6770000
18157	124,473987	-23,1162701	126,616287	-21,3086701	
18158	125,168067	-18,4475814	127,656467	-16,7087814	12,4190000
18159	125,657465	-13,7285666	128,524465	-12,0551666	
18160	126,111177	-9,04737581	129,418677	-7,44047581	22,4260000
18161	126,357549	-4,29025192	130,115649	-2,72535192	15,3160000
18162	126,602892	0,38698122	130,818892	1,90358122	4,6444000

ANALISI	IMPLICITO
PROVA	P14_01IMP
PROVA DI ORIGINE	P14_01
CONVERGENZA	SI
N° LAMINE	5
ORIENTAMENTO LAMINE	0-90-0-90-0
TENSIONE SNERVAMENTO [MPa]	83
MATERIALE	CILIEGIO



Calcolo dello SpringBack:

$(\text{Raggio finale} - \text{Raggio iniziale}) / \text{Raggio iniziale}$

$(\text{diametro finale} - \text{diametro iniziale}) / \text{diametro iniziale} = (129.69 - 126.9) / 126.9 = 2.2\%$

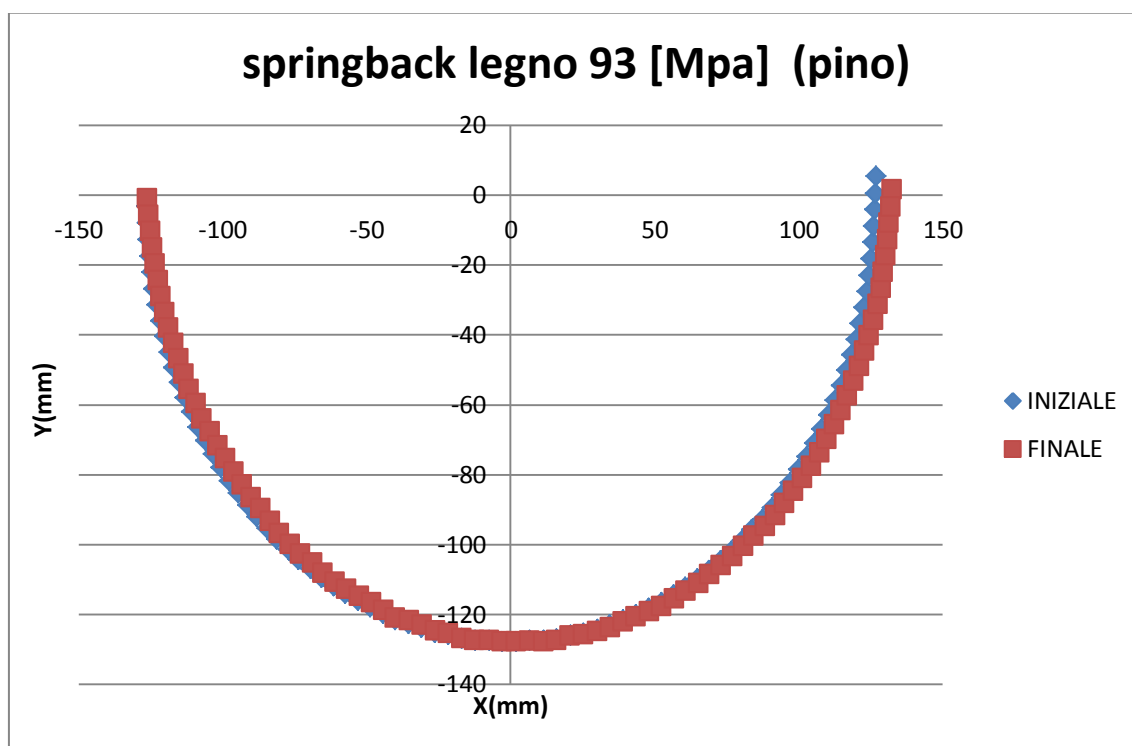
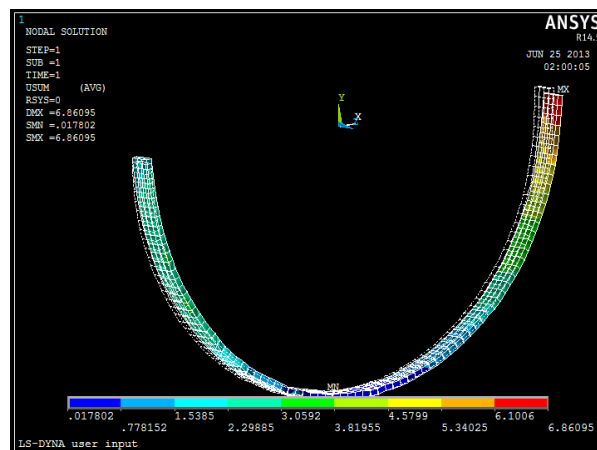
	INIZIALE	FINALE
RAGGIO	126.9	129.69
ANGOLO SINISTRA	85°	83.77°
ANGOLO DESTRA	87.2°	86.36°
	Eq.[1]	ANSYS
SPRINGBACK	4.16%	2.2%

P14_01IMP. Coordinate iniziali e finali una volta che lo springback e fatto. Tensione di Von-Mises equivalente. Dati delle coordinate in (mm), dati delle tensioni in (MPa).

NODE	X	Y	x Springback	Y springback	SEQV
18077	-126.37	-6.3271	-125.69176	-6.50471	7.9987
18078	126.98	7.9018	127.007548	6.7837	13.02
18079	-125.97	-11.261	-125.1689	-11.42249	11.601
18080	-125.55	-15.765	-124.64045	-15.91192	13.759
18081	-124.96	-20.646	-123.97747	-20.77924	11.417
18082	-124.22	-25.143	-123.2041	-25.26424	13.047
18083	-123.19	-29.914	-122.1542	-30.03262	14.649
18084	-122.03	-34.36	-121.0025	-34.46867	16.047
18085	-120.73	-39.027	-119.73811	-39.15226	18.729
18086	-119.19	-43.39	-118.28838	-43.52809	14.207
18087	-117.62	-47.937	-116.82596	-48.1269	10.14
18088	-115.63	-52.153	-114.95154	-52.37351	19.883
18089	-114.12	-56.713	-113.53495	-56.97696	11.749
18090	-111.66	-60.723	-111.12283	-61.00526	10.76
18091	-109.08	-64.712	-108.59202	-65.04436	0.80177
18092	-107.12	-69.036	-106.67224	-69.36947	1.4921
18093	-104.17	-72.745	-103.67644	-73.08317	9.6844
18094	-101.56	-76.695	-101.03185	-76.97744	10.891
18095	-98.669	-80.41	-98.07181	-80.67297	7.8254
18096	-95.631	-84.062	-95.00908	-84.2737	17.069
18097	-92.542	-87.594	-91.89148	-87.80868	13.332
18098	-89.246	-91.033	-88.6358	-91.25339	7.4478
18099	-85.842	-94.235	-85.26253	-94.51227	6.5256
18100	-82.241	-97.385	-81.7479	-97.71806	11.326
18101	-78.656	-100.35	-78.22173	-100.78387	13.72
18102	-74.961	-103.43	-74.66495	-103.99733	11.41
18103	-71.14	-106.05	-70.88363	-106.72626	13.991
18104	-67.033	-108.59	-66.73359	-109.16921	12.464
18105	-63.01	-110.86	-62.60688	-111.2859	10.161
18106	-58.854	-113.35	-58.49898	-113.82012	15.592
18107	-54.737	-115.39	-54.38588	-115.88918	9.1275
18108	-50.319	-117.41	-49.99006	-117.92133	11.558
18109	-46.081	-119.14	-45.79777	-119.76799	17.335
18110	-41.534	-120.91	-41.33959	-121.74004	14.523
18111	-37.214	-122.36	-37.06294	-123.33208	9.0811
18112	-32.464	-123.56	-32.32638	-124.5927	9.0312
18113	-28.051	-124.63	-27.94602	-125.809	12.481
18114	-23.306	-125.85	-23.280828	-127.3495	4.5512
18115	-18.79	-126.31	-18.742474	-127.6874	16.491
18116	-13.954	-127.31	-13.9526131	-128.9648	29.297
18117	-9.4158	-127.3	-9.396268	-128.8172	32.668

18118	-4.5411	-127.82	-4.550566	-129.5823	24.701
18119	0.012885	-128.11	0.010957	-130.015	30.955
18120	4.9014	-127.61	4.90086346	-129.1929	12.851
18121	9.453	-127.43	9.4445646	-129.1202	25.547
18122	14.328	-127.27	14.3363375	-129.193	7.5791
18123	18.792	-126.26	18.741825	-127.8889	6.8617
18124	23.621	-125.67	23.582485	-127.3133	16.465
18125	28.151	-124.85	28.129129	-126.5565	10.896
18126	32.826	-123.59	32.7879	-125.2199	11.254
18127	37.243	-122.24	37.13022	-123.6345	13.409
18128	41.841	-120.78	41.73267	-122.189	1.1774
18129	46.18	-119.15	46.05825	-120.529	3.3114
18130	50.615	-117.3	50.44775	-118.5624	2.3537
18131	54.855	-115.38	54.67082	-116.6138	3.8683
18132	59.114	-113.21	58.87423	-114.337	10.613
18133	63.194	-110.92	62.96232	-112.0705	15.423
18134	67.276	-108.47	67.05125	-109.6375	18.935
18135	71.193	-105.89	70.9754	-107.0659	19.404
18136	75.118	-103.21	75.00903	-104.5513	8.5664
18137	78.837	-100.32	78.795425	-101.7379	23.278
18138	82.471	-97.29	82.35167	-98.6286	14.614
18139	85.885	-94.032	85.64953	-95.2291	4.3649
18140	89.353	-90.817	89.15242	-92.0633	4.8084
18141	92.744	-87.516	92.57038	-88.7621	22.793
18142	95.772	-83.907	95.40796	-85.016	23.832
18143	98.812	-80.264	98.34582	-81.278	10.191
18144	101.66	-76.516	101.14212	-77.50472	22.655
18145	104.42	-72.66	103.88559	-73.62567	7.6675
18146	107.16	-68.841	106.84372	-69.9795	10.655
18147	109.25	-64.583	108.63603	-65.55144	15.109
18148	111.76	-60.6	111.22531	-61.6111	4.7778
18149	113.84	-56.337	113.23857	-57.31735	7.2841
18150	115.85	-52.089	115.18292	-53.03655	11.938
18151	117.62	-47.677	116.9133	-48.62057	11.707
18152	119.31	-43.304	118.6317	-44.25614	16.508
18153	120.78	-38.779	120.07265	-39.73152	20.344
18154	122.06	-34.272	121.53207	-35.2764	7.1976
18155	123.21	-29.648	122.7537	-30.6778	5.5837
18156	124.14	-25.054	123.73035	-26.0872	5.2764
18157	125.1	-20.386	124.9464	-21.4754	7.5332
18158	125.5	-15.718	125.09111	-16.795	10.07
18159	125.95	-10.974	125.64203	-12.0687	11.686
18160	126.31	-6.2971	126.16895	-7.4058	11.504
18161	126.52	-1.5384	126.41754	-2.6499	3.171
18162	126.79	3.1525	126.758029	2.0319	5.4559

ANALISI	IMPLICITO
PROVA	P14_02IMP
PROVA DI ORIGINE	P14_02
CONVERGENZA	SI
N° LAMINE	5
ORIENTAMENTO LAMINE	0-90-0-90-0
TENSIONE SNERVAMENTO [MPa]	93
MATERIALE	PINO



Calcolo del SpringBack:

$(\text{Raggio finale} - \text{Raggio iniziale}) / \text{Raggio iniziale}$

$(\text{diametro finale} - \text{diametro iniziale}) / \text{diametro iniziale} = (131.88 - 126.75) / 126.75 = 4.04\%$

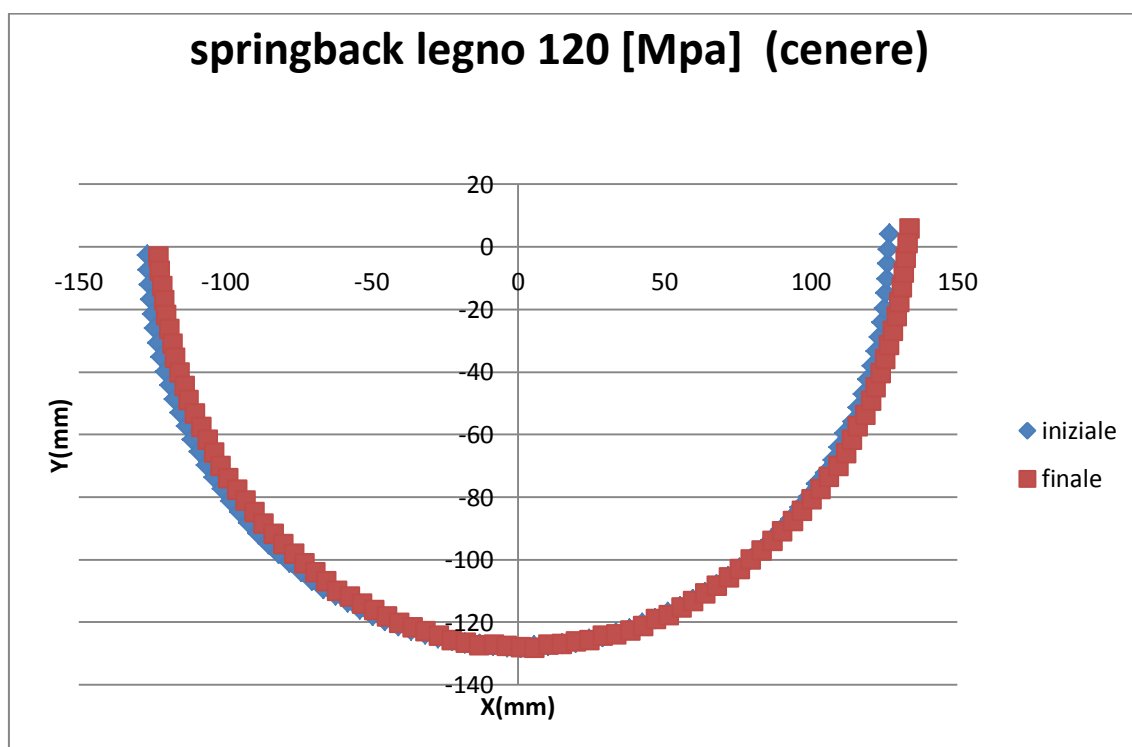
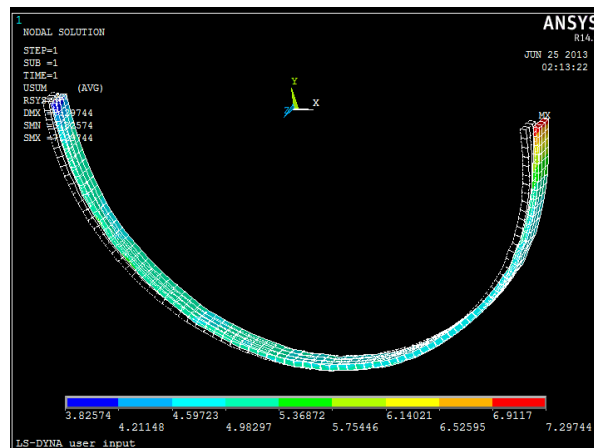
	INIZIALE	FINALE
RAGGIO	126.75	131.88
ANGOLO SINISTRA	86.5°	82.25°
ANGOLO DESTRA	86.7°	83.5°
	Eq.[1]	ANSYS
SPRINGBACK	4.16%	4.04%

P14_02IMP. Coordinate iniziali e finali una volta che lo springback e fatto. Tensione di Von-Mises equivalente. Dati delle coordinate in (mm), dati delle tensioni in (MPa).

NODE	X	Y	Y SPRINGBACK	X SPRINGBACK	SEQV
18077	-126.45	-3.3617	-126.23009	-1.1507	7.908
18078	126.87	5.3005	132.4644	1.3969	5.957
18079	-126.19	-8.1168	-125.68643	-5.885	12.984
18080	-125.87	-12.808	-124.98458	-10.5264	18.987
18081	-125.36	-17.527	-124.3013	-15.2217	19.357
18082	-124.66	-22.191	-123.4669	-19.8529	19.07
18083	-123.82	-26.848	-122.4217	-24.4695	18.49
18084	-122.77	-31.461	-121.3687	-29.0699	11.337
18085	-121.58	-36.02	-120.1342	-33.623	4.6689
18086	-120.21	-40.569	-118.7073	-38.1431	3.6427
18087	-118.64	-44.994	-117.0827	-42.5549	8.3595
18088	-116.94	-49.448	-115.2967	-46.9603	14.936
18089	-114.98	-53.694	-113.3627	-51.2236	21.633
18090	-113.08	-58.079	-111.6783	-55.7112	15.808
18091	-110.87	-62.185	-109.3445	-59.7569	10.913
18092	-108.6	-66.42	-107.1531	-64.0345	3.9819
18093	-106.01	-70.269	-104.4284	-67.7966	15.353
18094	-103.32	-74.279	-101.7162	-71.789	17.132
18095	-100.6	-78.008	-99.0142	-75.5223	19.721
18096	-97.607	-81.821	-96.069	-79.3694	14.866
18097	-94.62	-85.312	-93.1879	-82.9311	17.559
18098	-91.321	-88.89	-90.0147	-86.6318	20.254
18099	-88.027	-92.077	-86.7775	-89.8536	7.758
18100	-84.499	-95.446	-83.52854	-93.5087	13.822
18101	-81.126	-98.524	-80.4338	-96.8572	8.4717
18102	-77.257	-101.52	-76.60891	-99.9383	5.4983
18103	-73.662	-104.33	-73.05694	-102.8053	8.2949
18104	-69.509	-106.94	-68.86139	-105.3545	4.4451
18105	-65.755	-109.52	-65.27028	-108.1898	12.216
18106	-61.523	-112	-61.09555	-110.7501	16.469
18107	-57.465	-114.07	-57.03584	-112.846	11.087
18108	-53.032	-116.17	-52.6067	-114.9354	25.395
18109	-48.849	-117.98	-48.41714	-116.7369	
18110	-44.321	-119.84	-44.06002	-118.96513	15.205
18111	-40.138	-121.67	-40.0342	-121.13957	5.2808
18112	-35.323	-122.66	-35.1156	-121.82407	6.4105
18113	-30.926	-123.89	-30.7778	-123.19525	25.361
18114	-26.239	-125.27	-26.143514	-124.83529	19.557
18115	-21.71	-125.83	-21.640671	-125.41939	11.801
18116	-16.919	-126.87	-16.9152657	-126.885821	9.1455
18117	-12.406	-127.48	-12.426872	-127.570417	25.145

18118	-7.4869	-127.51	-7.4786217	-127.421352	21.939
18119	-2.9539	-127.87	-2.9572095	-127.848261	13.502
18120	1.9635	-127.87	1.957617	-127.854632	4.5578
18121	6.4942	-127.58	6.4913947	-127.6152	11.095
18122	11.435	-127.57	11.4294735	-127.9573	12.762
18123	15.946	-127.07	15.958853	-127.56458	9.3102
18124	20.759	-125.98	20.713723	-126.15739	5.5273
18125	25.285	-125.43	25.268949	-125.81811	2.1616
18126	30.073	-124.3	30.084389	-124.89323	12.491
18127	34.464	-123.09	34.51348	-123.76049	4.7672
18128	39.138	-121.64	39.154806	-122.25931	5.5371
18129	43.461	-120.12	43.506824	-120.76158	5.0028
18130	48.037	-118.43	48.09556	-119.21323	8.3281
18131	52.318	-116.75	52.49698	-117.7831	10.661
18132	56.612	-114.45	56.79935	-115.5285	
18133	60.685	-112.32	60.89554	-113.3824	3.2345
18134	64.949	-109.98	65.20829	-111.1896	9.6402
18135	68.828	-107.49	69.12392	-108.7174	15.906
18136	72.835	-104.76	73.14795	-106.0563	11.101
18137	76.569	-102.03	76.98274	-103.4562	17.792
18138	80.341	-99.008	80.84601	-100.5718	12.664
18139	83.751	-95.874	84.37365	-97.5712	7.2237
18140	87.492	-92.819	88.46266	-94.9768	7.7424
18141	90.768	-89.519	91.9144	-91.8422	19.272
18142	93.974	-85.928	95.1403	-88.2584	10.81
18143	97.033	-82.433	98.2313	-84.7956	3.8537
18144	100.03	-78.662	101.4165	-81.1968	11.642
18145	102.88	-75.008	104.5031	-77.7333	15.897
18146	105.59	-71.022	107.3966	-73.8744	8.3296
18147	108	-67.063	109.8231	-69.9118	10.054
18148	110.47	-62.93	112.3355	-65.812	13.711
18149	112.62	-58.811	114.5971	-61.7606	16.136
18150	114.79	-54.522	116.9487	-57.574	22.692
18151	116.64	-50.239	119.0026	-53.3959	13.218
18152	118.38	-45.787	121.1099	-49.099	
18153	119.94	-41.363	122.8821	-44.7716	19.801
18154	121.26	-36.798	124.3852	-40.2535	13.575
18155	122.55	-32.258	126.0609	-35.855	4.4578
18156	123.75	-27.692	127.5588	-31.3642	5.7455
18157	124.54	-23.008	128.5737	-26.732	10.057
18158	125.2	-18.369	129.4066	-22.1198	9.7754
18159	125.76	-13.616	130.1723	-17.4052	8.1597
18160	126.06	-8.9654	130.8265	-12.7959	5.517
18161	126.37	-4.1603	131.3904	-8.0175	2.9399
18162	126.61	0.45355	131.9068	-3.42735	4.0311

ANALISI	IMPLICITO
PROVA	P14_03IMP
PROVA DI ORIGINE	P14_03
CONVERGENZA	SI
N° LAMINE	5
ORIENTAMENTO LAMINE	0-90-0-90-0
TENSIONE SNERVAMENTO [MPa]	120
MATERIALE	CENERE



Calcolo dello SpringBack:

$(\text{Raggio finale} - \text{Raggio iniziale}) / \text{Raggio iniziale}$

$(\text{diametro finale} - \text{diametro iniziale}) / \text{diametro iniziale} = (132.375 - 126.75) / 126.75 = 4.44\%$

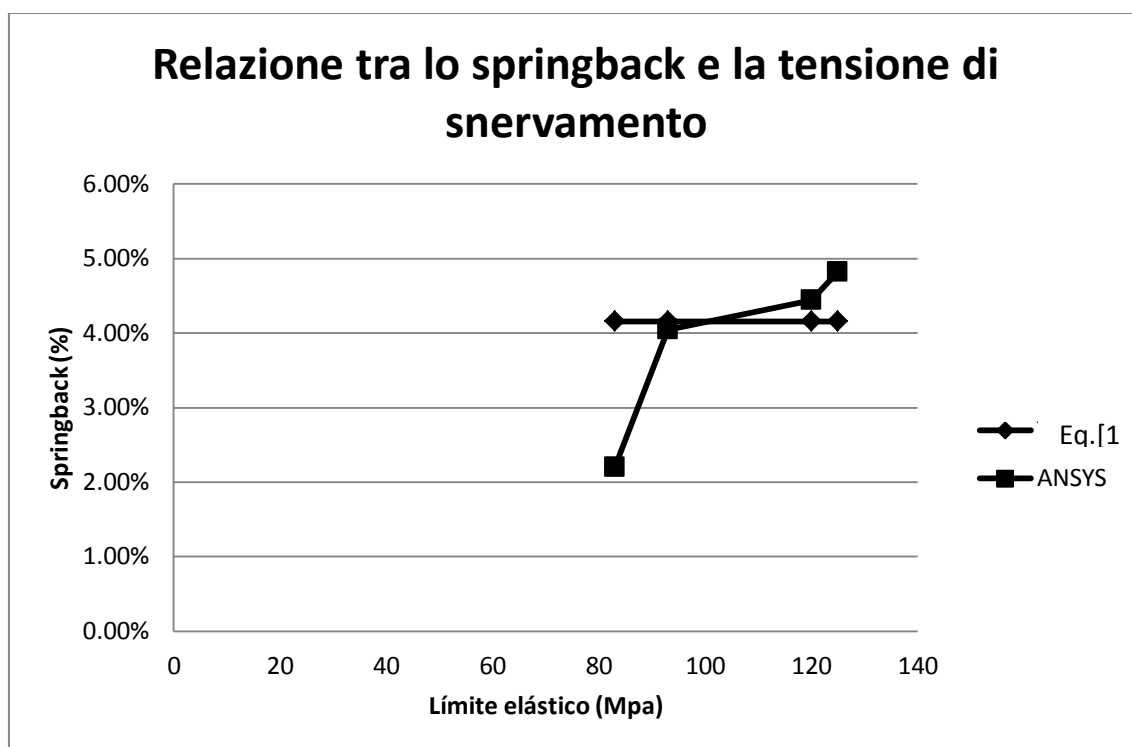
	INIZIALE	FINALE
RAGGIO	126.75°	132.375
ANGOLO SINISTRA	86.5°	82.6°
ANGOLO DESTRA	86.8°	82.6°
	Eq.[1]	ANSYS
SPRINGBACK	4.16%	4.44%

P14_03IMP. Coordinate iniziali e finali una volta che lo springback e fatto. Tensione di Von-Mises equivalente. Dati delle coordinate in (mm), dati delle tensioni in (MPa).

NODE	X	Y	x springback	y springback	SEQV
18077	-126.51	-2.6646	-122.6045	-3.22525	10.191
18078	126.87	4.083	133.8487	5.7051	7.3659
18079	-126.25	-7.243	-122.0714	-7.78488	17.641
18080	-125.94	-12.09	-121.3882	-12.58734	22.454
18081	-125.47	-16.68	-120.7052	-17.15069	19.495
18082	-124.8	-21.462	-119.9113	-21.89823	21.408
18083	-124.02	-26.036	-118.9219	-26.43361	23.538
18084	-122.97	-30.723	-117.8809	-31.106	28.227
18085	-121.85	-35.251	-116.829	-35.6626	25.752
18086	-120.46	-39.829	-115.3199	-40.18966	9.0566
18087	-118.82	-44.222	-113.6412	-44.57467	20.315
18088	-117.35	-48.754	-112.3584	-49.15838	7.2824
18089	-115.36	-53.021	-110.2144	-53.37001	8.2049
18090	-113.28	-57.283	-108.048	-57.58836	20.987
18091	-111.13	-61.475	-105.7803	-61.72616	31.465
18092	-108.74	-65.535	-103.484	-65.81551	26.186
18093	-106.46	-69.696	-101.4082	-70.11564	9.7938
18094	-103.89	-73.624	-98.7903	-74.00504	11.93
18095	-100.99	-77.401	-95.7016	-77.65437	15.431
18096	-98.141	-81.12	-92.7878	-81.30654	24.253
18097	-95.086	-84.786	-89.7643	-85.00489	18.961
18098	-91.962	-88.261	-86.7012	-88.5242	14.426
18099	-88.597	-91.662	-83.3179	-91.91059	10.724
18100	-85.197	-94.852	-79.885	-95.04966	18.765
18101	-81.599	-98.019	-76.2965	-98.22627	26.897
18102	-77.979	-100.94	-72.7133	-101.18527	8.4984
18103	-74.098	-103.77	-68.9269	-104.11904	14.103
18104	-70.353	-106.51	-65.3519	-107.0872	16.215
18105	-66.405	-109.23	-61.5806	-110.06152	19.742
18106	-62.261	-111.32	-57.2721	-111.87176	29.241
18107	-58.064	-113.65	-53.0367	-114.08014	23.561
18108	-53.93	-115.73	-48.922	-116.22726	35.921
18109	-49.566	-117.76	-44.5748	-118.27749	43.213
18110	-45.311	-119.57	-40.3652	-120.26183	16.138
18111	-40.758	-121.17	-35.777	-121.7041	10.518
18112	-36.353	-122.54	-31.3552	-123.01958	10.888
18113	-31.688	-123.82	-26.7505	-124.49462	18.941
18114	-27.252	-125.02	-22.3395	-125.8256	10.586
18115	-22.477	-125.9	-17.5496	-126.7367	25.732
18116	-17.973	-126.7	-13.0477	-127.51983	8.0723
18117	-13.092	-126.98	-8.0943	-127.21681	11.218

18118	-8.5454	-127.49	-3.5782	-127.69393	14.283
18119	-3.7358	-127.87	1.2622	-128.04004	6.9257
18120	0.86463	-128.08	5.83293	-128.204	31.751
18121	5.6455	-127.56	10.6367	-127.26506	12.127
18122	10.277	-127.42	15.2108	-127.00176	17.606
18123	15.061	-126.91	20.0364	-126.3008	26.007
18124	19.671	-126.42	24.5926	-125.84134	21.262
18125	24.367	-125.38	29.2644	-124.47931	4.8168
18126	28.941	-124.64	33.8511	-123.99278	2.9526
18127	33.605	-123.42	38.5357	-122.6958	18.529
18128	38.054	-122.14	42.9209	-121.24705	17.52
18129	42.531	-120.33	47.2981	-119.1804	10.398
18130	46.947	-118.95	51.7287	-117.7711	15.337
18131	51.337	-116.93	55.9746	-115.4787	9.5133
18132	55.512	-114.97	60.0523	-113.2808	7.2114
18133	59.848	-112.82	64.2311	-110.8848	17.058
18134	63.83	-110.5	68.1192	-108.3847	21.664
18135	67.976	-108	72.1348	-105.7169	20.485
18136	71.806	-105.45	75.8761	-103.0249	17.874
18137	75.762	-102.65	79.7434	-100.1294	19.647
18138	79.389	-99.819	83.3295	-97.248	20.744
18139	83.134	-96.732	87.0607	-94.159	
18140	86.536	-93.639	90.4922	-91.1053	19.264
18141	90.045	-90.284	94.0378	-87.7875	8.0075
18142	93.184	-86.921	97.2131	-84.4726	12.553
18143	96.397	-83.287	100.506	-80.9064	18.256
18144	99.343	-79.743	103.5481	-77.4614	5.5538
18145	102.08	-75.738	106.4405	-73.5571	6.454
18146	105.06	-72.204	109.5318	-70.124	24.622
18147	107.71	-68.145	112.2005	-66.0547	25.607
18148	109.62	-63.936	114.1278	-61.8767	6.8831
18149	111.71	-59.569	116.1967	-57.4807	11.374
18150	114.36	-55.753	118.9275	-53.7312	11.596
18151	116.17	-51.272	120.7283	-49.2406	7.4738
18152	117.86	-46.961	122.3842	-44.9169	15.58
18153	119.53	-42.434	124.0722	-40.406	22.303
18154	120.93	-38.012	125.5344	-36.0035	19.974
18155	122.28	-33.386	127.0121	-31.4317	19.575
18156	123.31	-28.855	128.2248	-26.9421	17.846
18157	124.35	-24.159	129.4762	-22.3112	15.001
18158	125.06	-19.56	130.4058	-17.7419	23.024
18159	125.61	-14.784	131.1975	-13.0138	23.726
18160	126.02	-10.153	131.9198	-8.4199	13.155
18161	126.35	-5.3579	132.6333	-3.6785	10.728
18162	126.54	-0.70937	133.1862	0.95093	10.817

C.11.5 Resultados Bloque Pruebas 3: Influencia del límite elástico de la madera en el cálculo del springback



Secondo la Eq.[1] (equazione dell'istituto forestale d'Inghilterra) non c'è relazione tra la tensione di snervamento del legno e lo springback. Questo può essere dovuto a una semplificazione realizzata tra tutte le classi di legno, perché l'influenza della tensione di snervamento è minore che altre fattori come sono il n° di lamine o l'orientamento delle lamine.

Nell'analizzare i dati ottenuti con ANSYS risulta che lo springback diminuisce con il diminuire della tensione di snervamento del materiale, mentre l'Eq.[1] potrebbe rimanere costante.

PROVA	TENSIONE SNERVAMENTO	SPRINGBACK Eq.[1]	SPRINGBACK ANSYS
P14_01IMP	83	4.16%	2.20%
P14_02IMP	93	4.16%	4.04%
P14_03IMP	120	4.16%	4.44%
P14_00IMP	125	4.16%	4.82%

Alla luce dei risultati la prima conclusione potrebbe essere che l'equazione teorica non è coerente con i dati, ma se si scava più in profondità lo studio mostra che il parametro medio elastico ottenuto in ANSYS è abbastanza vicino a quello teorico.

SPRINGBACK ANSYS MEDIO	SPRINGBACK Eq.[1]
3.875%	4.1665

C.11.6 Conclusioni

Nonostante della discrepanza iniziale tra l'Eq.[1] e i dati ottenuti sul ANSYS, l'Eq[1] è validata, perché confrontando lo springback medio tra lo springback dell'Eq.[1] si osserva una semejanza dei dati.

L'equazione del Istituto Forestale d' Inghilterra rappresenta valori dello springback per moduli elastici supporti di legno comunemente usati in processi di piegatura. È una media dei valori tutti i valori ottenuti.

Nell'applicazione dell' Eq.[1] si deve essere consapevoli che se la tensione di snervamento del legno è alta, il ritorno elastico ottenuto sarà leggermente più alto del previsto e se il carico di snervamento del legno è sotto lo springback ottenuto sarà leggermente inferiore al previsto.

C.12 BLOCCO PROVE 4: INFLUENZA DEL MODULO DI ELASTICITÀ DELLA COLLA NELLO SPRINGBACK DEL LEGNO LAMINATO

Il legno laminato è un composto di due materiali, la parte di legno con le loro caratteristiche e ortotropici e inoltre la colla o resina.

La colla o resina hanno un ruolo nell'elemento laminato che è l'unione dei fogli e determinare la tensione di rottura del set come è stato spiegato nel BLOCCO B.

Ci sono molte colle o resine utilizzate per costruire compensato. Nel test precedenti hanno si ha determinato l'influenza del lengon nello springback ora si determinerà l'influenza della coda nel processo.



Figura51. Resina

Per determinare l'influenza della colla nel ritorno elastico del legno laminato, sono fatte due prove, una con l'elemento colla con le caratteristiche della coda bianca normale per legno, e le altre con le caratteristiche relative alla resina epossidica, quella è la resina che è stata utilizzata da i costruttivi Nel progetto velando del Politecnico di Bari.

I dati Caratteristici dalla resina sono state determinati per i ragazzi della sezione costruttiva del Progetto Velante.

C.12.1 Ipotesi

Anche se conoscendo la differenza di comportamento della resina epossidiche secondo sia sollecitata a trazione o compressione applicata, si suporrà che il comportamento dalla resina epossidica è isotropo. Questo perché la resina nel processo springback solo è sottoposta a sollecitazioni di trazioni.

C.12.2 Obbiettivi

- Determinare l'influenza della resina o colla nel ritorno elastico, modificando il modulo elastico.
- Confrontare i dati e giungere ad una conclusione certa.
- Generalizzare a tutti i dati dello springback a tutti tipi di colle o resine
- Confrontare i test del Blocco A che ho fatto alla Spagna con i test dalla sezione costruttivi dello Progetto Velante.

C.12.3 Metodologia

Per i test si utilizza legno laminato di cinque strati. 5 lamine saranno di legno il cui orientamento si alterneranno tra 0 e 90 °, iniziando e terminando flessione orientamento longitudinale. E anche 4 lamine di colla o resina.

La prima prova deve essere effettuata con le caratteristiche tecniche di colla bianca utilizzati nei test in Spagna e ha spiegato in BLOCCO A.

La seconda prova è stata eseguita con le caratteristiche tecniche della resina epossidica utilizzata nella sezione costruttiva del Progetto Velante del Politecnico di Bari.

Di seguito sono dati sia per la resina come per colla

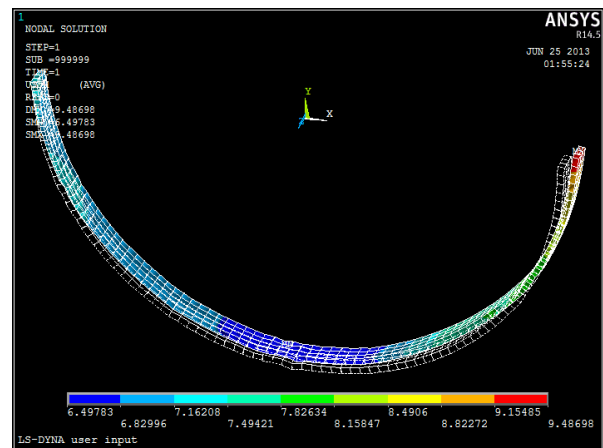
	Colla	Resina epossidiche
Modulo elasticità	1.25 GPa	2.4-4 GPa
Coefficiente di Poisson	0.25	0.2-0.34

I valori utilizzati alla fine nella resina epossidiche sono

- 3 GPa modulo elasticità
- 0.25 coefficiente poisson

C.12.4 Prove Blocco 4

ANALISI	IMPLICITO
PROVA	P16_00IMP
PROVA DI ORIGINE	P10_00
CONVERGENZA	SI
N° LAMINE	5
ORIENTAZIONE DELLE LAMINE	0-90-0-90-0
E _x [MPa] COLLA	1250



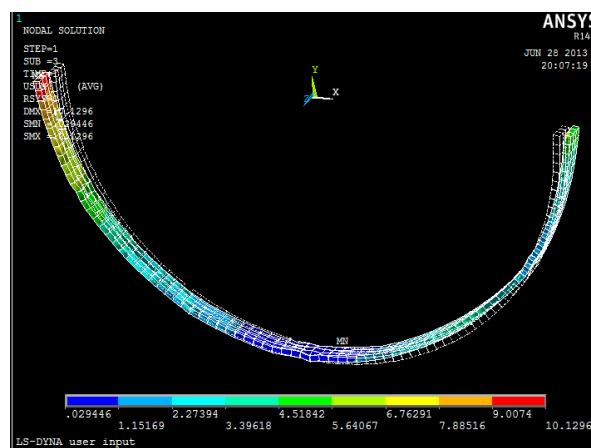
Calcolo dello SpringBack:

(Raggio finale- Raggio iniziale)/Raggio iniziale

(diametro finale- diametro iniziale)/ diametro iniziale=(133.98-127.4358)/127.4358=5.135%

	INIZIALE	FINALE
RAGGIO	127.43	133.5777
ANGOLO SINISTRO	86.8°	84.7°
ANGOLO DESTRO	81.253°	81.778
	Eq.[1]	ANSYS
SPRINGBACK	4.16%	5.135%

ANALISI	IMPLICITO
PROVA	P16_00IMP
PROVA DI ORIGINE	P10_00
CONVERGENZA	SI
N° LAMINE	5
ORIENTAZIONE DELLE LAMINE	0-90-0-90-0
E _x [MPa] RESINA	3000



Calcolo dello SpringBack:

(Raggio finale- Raggio iniziale)/Raggio iniziale

(diametro finale- diametro iniziale)/ diametro iniziale=(133.76-127.4358)/127.4358=4.963%

	INIZIALE	FINALE
RAGGIO	127.43	133.5777
ANGOLO SINISTRO	86.8°	84.7°
ANGOLO DESTRO	81.253°	81.778
	Eq.[1]	ANSYS
SPRINGBACK	4.16%	4.963%

C.12.5 Risultati

Vedendo i risultati dei test, le differenze ottenute nelle prove non sono molto grandi perché lo springback ha diminuito da 5,1353% a 4,963%.

Cioè, per un aumento del modulo elastico del 240% la differenza tra i due springback è di poco superiore all'8%.

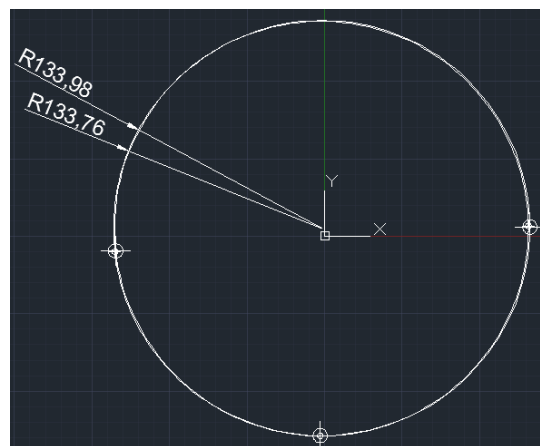


Immagine dei raggi di curvatura utilizzando 3 nodi di ogni prove

C.12.6 Conclusioni

- A la luce dei risultati si verifica che variaciones en el modulo de elasticidad no modifican sensiblemente el springback
- Il risultati delle prove ottenuti nel BLOCCO A possono anche essere utilizzati nel calcolo dello springback delle prove fatte per la sezione costruttiva del Progetto Velante dei Politecnico di Bari
- Si generaliza y risultati ottenuti in tutto il BLOCCO C per tutte colle o resine.
- Si verifica che la Eq.[1] può essere utilizzata indifferentemente delle colla o resina utilizzata.

C.13 CONCLUSIONI DEL BLOCCO C

Si hanno soddisfatto tutti gli obiettivi per questo blocco:

- si ha creato un processo esplicito-implicito con ANSYS software commerciali
- È stato creato un modello di materiale virtuale che è simile al legno laminato. si ha preso in considerazione il comportamento ortotropo del legno e il comportamento isotropo della colla.
- si ha osservato una correlazione tra i dati ottenuti in ANSYS e i dati ottenuti sia teoricamente che praticamente, con il completamento dei test di laboratorio.
- È stato confermato che il ritorno elastico diminuisce con l'aumentare il numero di strati. Rapporto di riduzione è simile a quello studiato nel Blocco A, con notevoli differenze se il laminato ha un numero pari di strati o lamine.
- Si ha determinato l'influenza dell'orientamento dei fogli del ritorno elastico. Assemblaggio laminati curvati nella direzione longitudinale è ottenuto lo springback maggiore che se è curvato nel senso trasversale delle lamine.
- Il migliore orientamento delle lamine con lo scopo di diminuire il recupero elastico ma non attivano ridurre notevolmente la resistenza del laminato è un gruppo a strati dispari cui orientamento delle lamine è alternativamente da 0 ° a 90 °.
- L'orientamento dei fogli ha molto maggiore influenza sul lo springback in legno laminato di numero pari di lamine che in un set di numero dispari di strati.
- La tensione di snervamento del legno laminato ha influenza il nello springback, quello viene aumentato se ha una alta tensione di snervamento e viene diminuito se ha una bassa tensione di snervamento.
- Si ha determinato che la colla o resina non ha una alta influenza nello springback.
- Se può generalizzare i dati dello springback di Eq.[1] a tutti i tipi di colla o resina.

BIBLIOGRAFIA

ANSYS help

<http://www.ansys.com/Resource+Library>

http://www.sharcnet.ca/Software/Fluent13/help/ans_lsd/Hlp_L_eiseq1.html

http://myweb.ncku.edu.tw/~hhlee/Myweb_at_NCKU/ANSYS14.html

“simulación de un proceso de embutición mediante ANSYS” Natalia García Gayol

ANSYS LS-DYNA help

Complete Manual of Wood Bending Book

Argüelles, 2003

SOMMARIO FIGURE

Figura1. Immagine nella se specificano i assi d'ortotropia del legno.	Pag4
Figura2. Representazione delle curve tensione-deformazione del legno faggio per trazione e compresione, con processo di vaporizzato e senza di esso.	Pag6
Figura3. Effetti di vaporizzato nella posizione nella línea neutra.	Pag7
Figura4. Sequenza delle pobre di raggio di curvatura segun il orientamento delle fibre.	Pag 8
Figura5 . Scafo di legno laminato modellato tramite Autocad. Disegno proprio.	Pag11
Figura6 . Scafo esploso di legno laminao. Le lamine nel stesso senso delle fibre. Disegno proprio.	Pag12
Figura7 . Scafo esploso di legno laminao. Le lamine sono curvate nei due direzione Disegno proprio.	Pag 12
Figura8. Proba nº 42: raggio minimo di curvatura prima di frattura.	Pag13
Figura9. Proceso di curvado a vapore.	Pag15
Figura10. Curvado nel senso longitudinale della fibra.	Pag15
Figura 11. Disposizione delle lamine.	Pag15
Figura12. Processo di formatura del legno laminato incollato.	Pag16
Figura13. Probe nº22. Misura del diámetro finale.	Pag16
Figura14. Cámara di vapore.	Pag16
Figura15. Foto dei cuatri stampi utilizzati nel corso delle probe.	Pag17
Figura16. Foto del proceso di formatura.	Pag17
Figura17. Colla.	Pag17.
Figura18. Tutte le prove che ho fatto in collaborazione con la Scola d'Arte da Corella, Navarra, Spagna.	Pag18.
Figura 19. Static structural.	Pag44
Figura20. Diagramma sforzo-deformazione. Il modulo di Young è rappresentato dalla tangente alla curva in ogni punto.	Pag46
Figura21. Calcolo del modulo di.	Pag48.
Figura22. Tensione-deformazione.	Pag50.
Figura23. Tensione perpendicolare radiale e tangenziale.	Pag 51.
Figura24. Plasticità.	Pag52.
Figura25. Fallimento dovuto a tensioni di tablio (<i>Argüelles,2003</i>).	Pag53.
Figura26. Processo di selezione del materiale <i>Wood</i> .	Pag54.
Figura27. Propietà materiale <i>Wood</i> senza cambiare.	Pag54
Figura28. Valori propietà ortotropica.	Pag55.
Figura29. Matrice di rigidità , dove X è la direziome longitudinale (L), Y è la direzione radiale (R) y Z è la direzione tangenziale (T).	Pag56.
Figura30. Secuencia per introdurre la matrice di rigidità del legno.	Pag56.
Figura31. Meteriale isotrópico.	Pag57.
Figura32. Secuencia ANSYS LS-DYNA.	Pag58.
Figura33. ANSYS.LS-DYNA, ANSYS LS-DYNA.	Pag72.

Figura34. Confronto della muffa reale e virtuale.	Pag80.
Figura35. Confronto della contra-muffa reale e virtuale.	Pag80.
Figura36. Imágenes comparativas entre lámina virtual y real.	Pag81.
Figura37. Tempo simulazione.	Pag82.
Figura38. Foto del set di vettri che definiscono gli spostamenti e carichi.	Pag84.
Figura39. Applicazione dei carichi.	Pag85.
Figura40. Deformazione máxima del modello.	Pag88.
Figura41. Tensione massima del elemento lamina.	Pag88.
Figura42. allungamento massimo della lamina.	Pag89.
Figura43. Conversione di elementi espliciti a impliciti.	Pag90.
Figura44. Introduzioni di parametri di materiale ortótropo (legno).	Pag91.
Figura45. Introduzione dei dati di materiale isotropo.	Pag91.
Figura46. Sezione della serie laminata di 5 lamine.	Pag93.
Figura 47. Importazione tensione.	Pag93.
Figura48. Cumulative iteration number.	Pag94.
Figura49. Deformazione delle lamine dovuto allo springback.	Pag94.
Figura50. Sezione di legno laminato in ANSYS.	Pag122.
Figura51. Resina.	Pag157.

REFERIMENTO EQUAZIONE

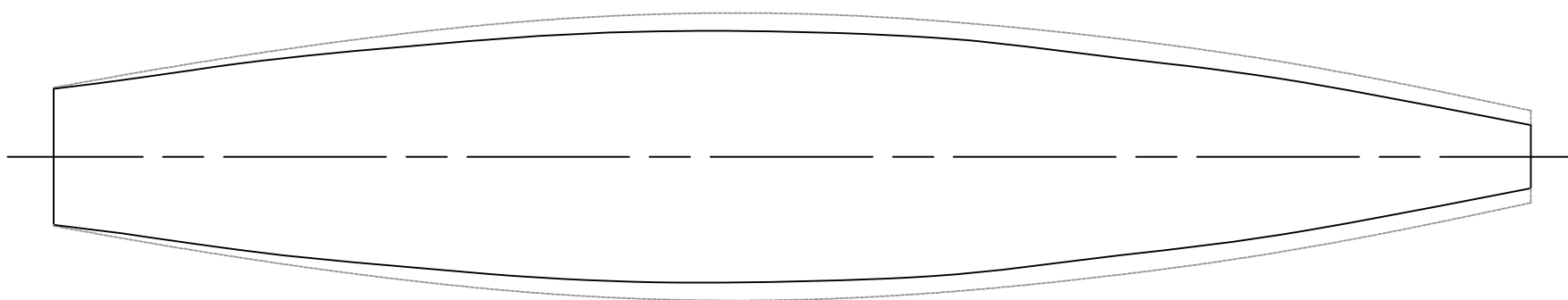
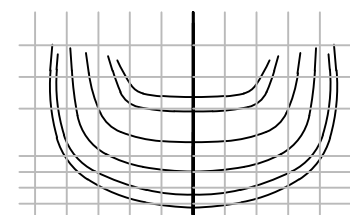
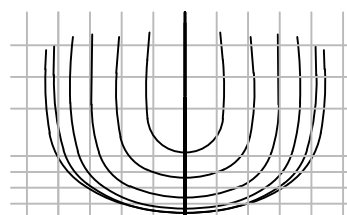
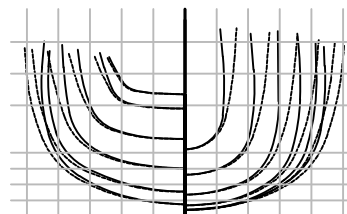
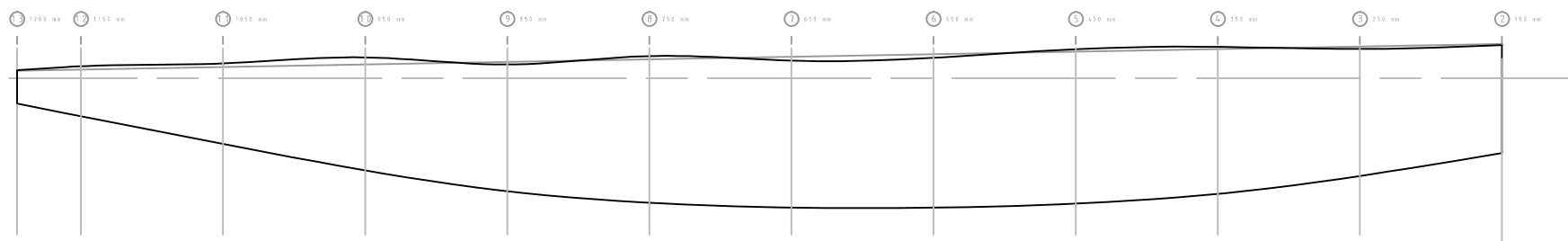
Eq[1]

La percentuale dello spring back si ottiene segun questa formula, ottenuta per il laboratorio di studi forestali de Inghilterra

$$\%S=100/[(n^2)-1]$$


n: numero de lamine. [1]

ANEXO



■ STAMPO TEORICO SENZA PREVENIRE LO SPRING BACK

■ STAMPO PREVENENDO LO SPRING BACK

	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO : DEPARTAMENTO DE ING. MECANICA, ENERGETICA Y DE MATERIALES		
		INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	AUTORE : LÓPEZ OCHOA, ÁLVARO		
PROYECTO : PROGETTO VELANTE			FIRMA :		
PLANO : STAMPO			FECHA :	SCALA : 1 : 4	Nº PLANO : 1

CONOSCENZA DELLO SPRINGBACK DEL LEGNO LAMINATO E IL SUO CALCOLO ATTRAVERSO TEST SUL LEGNO LAMINATO REALE E MEDIANTE IL SOFTWARE ANSYS NELL'AMBITO DEL PROGETTO VELANTE

Álvaro López Ochoa

ORGANIZZAZIONE DELLA TESI

- **BLOCCO A:** Ricerca di informazione circa lo springback
Realizzazione delle prove per confermare o refutare lo springback dell'equazione del istituto forestale di Inghilterra
- **BLOCCO B:** Comportamento del legno laminato
Creazione di un modello virtuale di comportamento del legno laminato sul ANSYS
- **BLOCCO C:** L'ottenimento dello Springback del legno laminato attraverso il software di elementi finiti ANSYS
Confronto dei risultati ottenuti con quelli ottenuti nel BLOCCO A

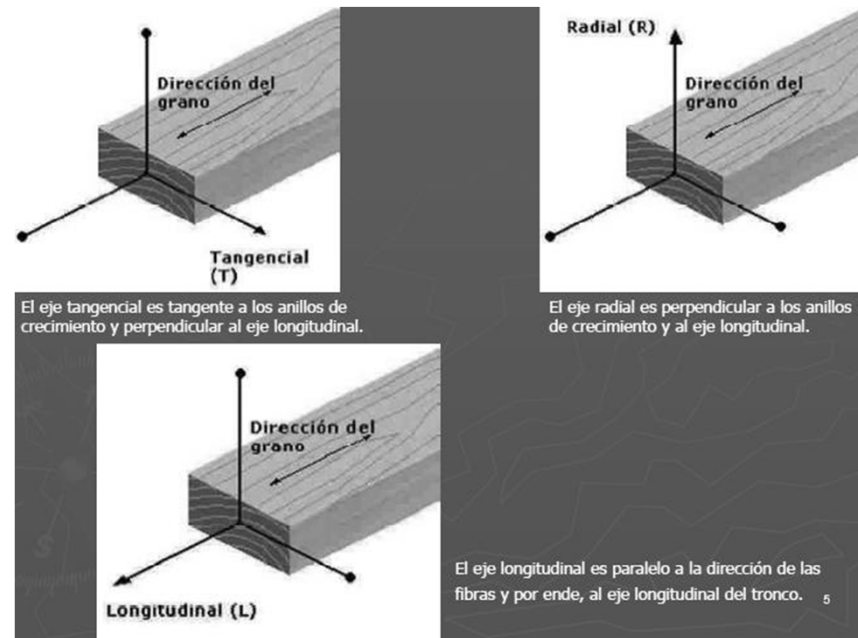
BLOCCO A

- Ricerca di informazione circa lo springback

Realizzazione delle prove per confermare o refutare lo springback dell'equazione del istituto forestale di Inghilterra

INTRODUZIONE

- Legno → materiale ortotropo.
- Ha due o tre assi perpendicolari tra loro, doppia simmetria rotazionale.



SPRING BACK

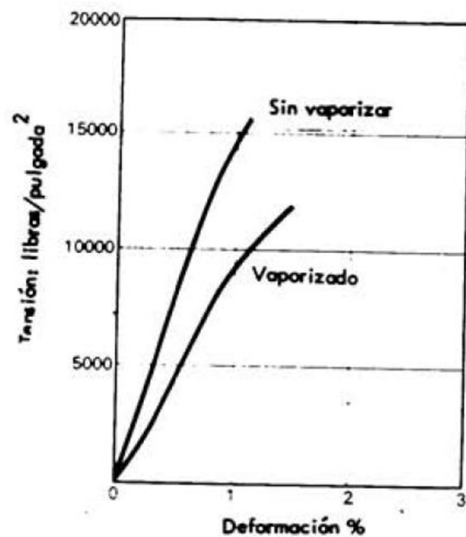
- Spring back è la condizione che si verifica quando un materiale, al rilascio della forza di formatura, torna parzialmente alla sua forma originale. A causa dello springback è necessario piegare di più l'oggetto per ottenere il raggio e l'angolo di curvatura desiderati.
- La percentuale dello spring back $\%S = [100 \cdot (R_{\text{final}} - R_{\text{inicial}}) / R_{\text{inicial}}]$

FATTORI DI INFLUENZA NELLO SPRING BACK

- Il legno utilizzato
- Rapporto tra il raggio e lo spessore
- Spessore
- tempo della formatura
- umidità

• Processo di curvatura

- curvatura a freddo: si piega il legno senza un trattamento precedente.
- Curvatura a vapore: i legni sottoposti a calore con vapore diventano semi-plastici. Si diminuisce lo springback



- Legno laminato

- La percentuale dello spring back del legno laminatosi ottene segun questa formula, obtenuta per il laboratorio di studi forestali de Inghilterra

- $\%S = 100 / [(n^2) - 1]$ n: numero de lamine. Eq[1]



Direzione del curvato e direzione delle fibre del legno

- Curvato perpendicolare

↓ Resistenza
↓ Raggio curvatura
↓ Springback



- Curvato longitudinale

↑ Resistenza
↑ Raggio curvatura
↑ Springback



Soluzione ottimale: direzione alternativa delle lamine

LE PROVE

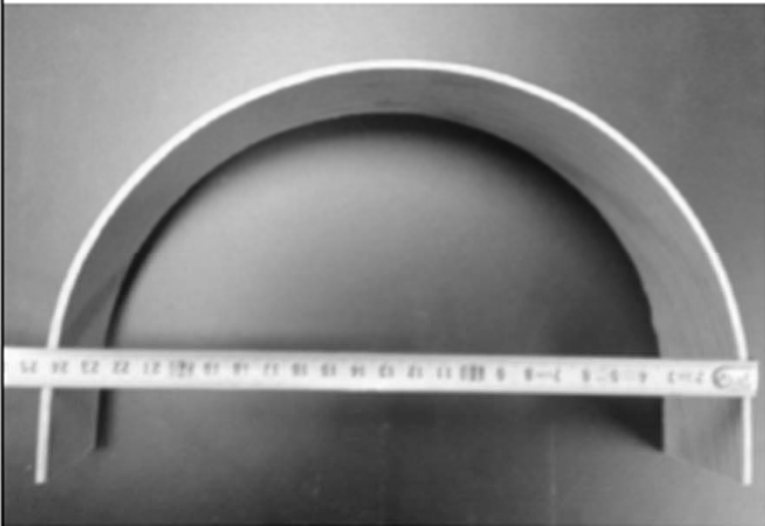
- Legno → Faggio
- Spessore → 0,6mm
- Orientazione legno → alternativa
- Processo curvatura → curvato a vapore/ curvato a freddo
- Deformazione → pressione dello stampo e contro-stampo
- Raggio di curvatura → 120, 20, 15, 10mm
- Colla utilizzata: colla bianca per legno

- Obbiettivi prove
 - Springback una lamina
 - Springback legno laminato
 - Confronto tra lo springback e il raggio di curvatura
 - Confronto e verifica dello springback dall' Eq[1]
 - Raggio minimo prima frattura



- Esempio prova springback legno laminato

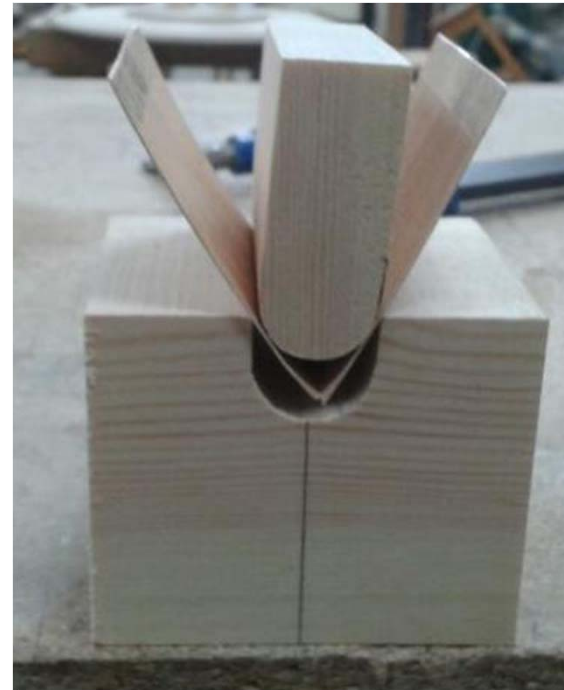
PROBA nº 17



Materiale		Faggio	
Spessore (mm)		0.6	
Numero di lamine		5	
Processo		Curvado a freddo	
Tempo di formatura		24 ore	
Colla usata			
Raggio iniziale	Angolo inicial	120mm	180º
Raggio finale	Angolo finale	125mm	172.8º
Percentuale dello spring back		4.16%	

RESULTATI

- Prove raggio minimo



Gruppo	Nº di lamine	Processo di curvato	Raggio finale(mm)	situazione
raggio minimo frattura	1 lamina	processo curvato a freddo	9	frattura
		processo curvato a vapore a pressione atmosferica	4	

- Prove springback legno e legno laminato

Gruppo	N° di lamine	Processo di curvato	Raggio (mm)	Raggio finale(mm)	Spring back (%)	T° formatura (h)	Angolo iniziale (°)	Angolo finale(°)
Legno	1 lamina	processo curvado a freddo	120	300	150	2	180	72
			20	80	300	2	180	45
			15	70	366,666667	2	180	38,5714286
			10	25	150	2	180	72
			120	265	120,833333	4	180	81,509434
			20	70	250	4	180	51,4285714
			15	40	166,666667	4	180	67,5
			10	15	50	4	180	120
			120	265	120,833333	6	180	81,509434
			20	55	175	6	180	65,4545455
			15	35	133,333333	6	180	77,1428571
			10	13	30	6	180	138,461539
		processo curvado a vapore a pressione atmosferica	120	140	16,6666667	24	180	154,285714
			20	22	10	24	180	163,636364
			15	16,2	8	24	180	166,666667
			10	10,45	4,5	24	180	172,248804
Legno laminato	3 lamine	processo curvado a freddo	120	134,5	12,0833333	24	180	160,594796
			20	22,36	11,8	24	180	161,001789
			15	16,5	10	24	180	163,636364
			10	10,7	7	24	180	168,224299
	4 lamine	processo curvado a freddo	120	126,5	5,41666667	24	180	170,750988
			20	21	5	24	180	171,428571
			15	15,72	4,8	24	180	171,755725
			10	10,4	4	24	180	173,076923
	5 lamine	processo curvado a freddo	120	125	4,16666667	24	180	172,8
			20	20,75	3,75	24	180	173,493976
			15	15,5	3,33333333	24	180	174,193548
			10	10,15	1,5	24	180	177,339902
	9 lamine	processo curvado a freddo	120	121	0,83333333	24	180	178,512397
			20	20,1	0,5	24	180	179,104478
			15	15,08	0,53333333	24	180	179,045093
			10	10,1	1	24	180	178,217822

CONCLUSIONI BLOCCO A

- A maggiore tempo di formatura minore springback fino a un valore massimo
- En un processo a vapore lo springback è minore che en un processo di curvato a freddo.
- Nel legno laminato lo springback diminuisce se si aumentano il numero delle lamine.
- I risultati sono abbastanza simile a quelli previsti dall'Eq[1].
- A differenza dalla Eq[1] lo springback diminuisce se diminuisce il raggio di curvatura

BLOCCO B

Comportamento del legno laminato

Creazione di un modello virtuale di comportamento del
legno laminato sul ANSYS

OBIETTIVI

- Definire correttamente le proprietà del legno
- Creazione di un solo materiale che suo comportamento e deformazione sia quello del legno laminato.
- Utilizzare questo materiale nella creazione di una barca della classe IOM del progetto Velante del Politecnico di Bari

LEGNO MATERIALE REALE

- Modulo di Young → ci sono tre costanti elastici E_x , E_y y E_z tale che il modulo di Young in qualsiasi direzione viene determinato per:

$$E = l_x E_x + l_y E_y + l_z E_z$$

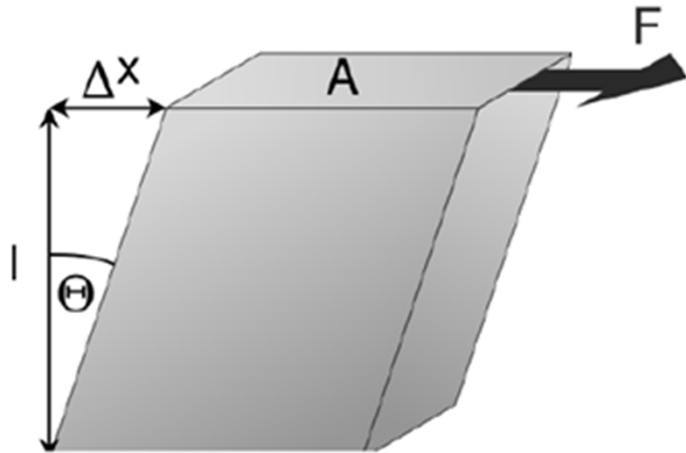
Modulo di elasticità longitudinale	Rapporto tra moduli	Valore (MPa)
E_x	E_x	12600
E_y	$E_x/30$	420
E_z	$E_x/30$	420

- Coeficiente Poisson → Per materiali ortotropi (legno), il rapporto tra la deformazione unitaria longitudinale e la deformazione unitaria trasversale dipende della direzione dello stiramento

$$\frac{\nu_{yx}}{E_y} = \frac{\nu_{xy}}{E_x} \quad \frac{\nu_{zx}}{E_z} = \frac{\nu_{xz}}{E_x} \quad \frac{\nu_{yz}}{E_y} = \frac{\nu_{zy}}{E_z}$$

Coeficiente de Poisson	Valor
ν_{zy}	0.31
ν_{yx}	0.03
ν_{zx}	0.02

- Modulo di taglio → Caratterizza il cambiamento della forma di un materiale elastico quando soffri sforzi di taglio.



Per il materiale ortotropo il modulo di taglio.

$$G_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{2\varepsilon_{xy}} \quad G_{xz} = \frac{\sigma_{xz}}{2\varepsilon_{xz}} \quad G_{yz} = \frac{\sigma_{yz}}{2\varepsilon_{yz}}$$

Modulo elasticità trasversale	Rapporto tra le moduli	Valore (MPa)
G_{XY}	$E_X/G_{XY}=14.9$	845.6
G_{XZ}	$E_X/G_{XZ}=17.25$	730.4
G_{YZ}	$E_X/G_{YZ}=153.47$	82.1

- Tensione di snervamento a trazione nella direzione della fibra

Limite elastico a trazione	Valore (MPa)
$\sigma_{t,e}$	19.5

- Tensione di rottura a trazione

Tensione di rottura a trazione	Valore
$\sigma_{t,r}$	20.5

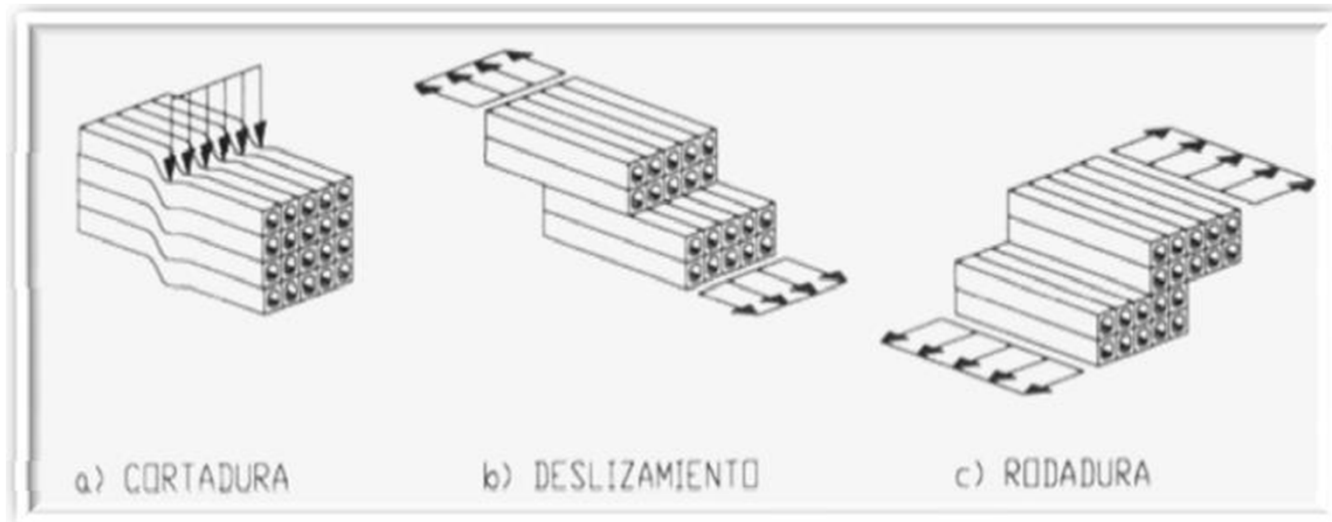
- Tensione di snervamento a compressione

Tensione di snervamento a compressione	Valore (MPa)
$\sigma_{c,e}$	26.5

- Tensione di rottura a compressione

Tensione di rottura a compressione	Valore
$\sigma_{c,r}$	27.5

- **Taglio**→ Lo sforzo di taglio provoca tensioni tangenziali sulle fibre del legno.



Tensioni di taglio		Valore (MPa)
Talio;	shear XY	3.2
Glide;	shear YZ	3.2
Rotolamento;	shear XZ	3.2

LEGNO MATERIALE ANSYS

- Considerazione del legno come materiale ortotropo. (*Wood1*)

Definizione dei
coefficienti
ortotropici

Properties of Outline Row 4: Wood					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	700	kg m ⁻³		
3	Orthotropic Elasticity				
4	Young's Modulus X direction	12600	MPa		
5	Young's Modulus Y direction	420	MPa		
6	Young's Modulus Z direction	420	MPa		
7	Poisson's Ratio XY	0,03			
8	Poisson's Ratio YZ	0,31			
9	Poisson's Ratio XZ	0,02			
10	Shear Modulus XY	845,6	MPa		
11	Shear Modulus YZ	82,1	MPa		
12	Shear Modulus XZ	730,4	MPa		
13	Tensile Yield Strength	19,5	MPa		
14	Compressive Yield Strength	26,5	MPa		
15	Tensile Ultimate Strength	20,5	MPa		
16	Compressive Ultimate Strength	27,5	MPa		
17	Orthotropic Stress Limits				
18	Tensile X direction	19,5	MPa		
19	Tensile Y direction	0,6	MPa		
20	Tensile Z direction	0,6	MPa		
21	Compressive X direction	-26,5	MPa		
22	Compressive Y direction	-3	MPa		
23	Compressive Z direction	-3	MPa		
24	Shear XY	3,2	MPa		
25	Shear YZ	3,2	MPa		
26	Shear XZ	3,2	MPa		

- Considerazione del legno come materiale anisotropo. (Wood2)

Definizione della Matrice di rigidità in ANSYS

Table of Properties Row 3: Anisotropic Elasticity

	A	B	C	D	E	F
1	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
2	7,9365E-05					
3	-7,1429E-05	0,002381				
4	-4,7619E-05	-2,381E-06	0,002381			
5	0	0	0	0,0011826		
6	0	0	0	0	0,01218	
7	0	0	0	0	0	0,0013691

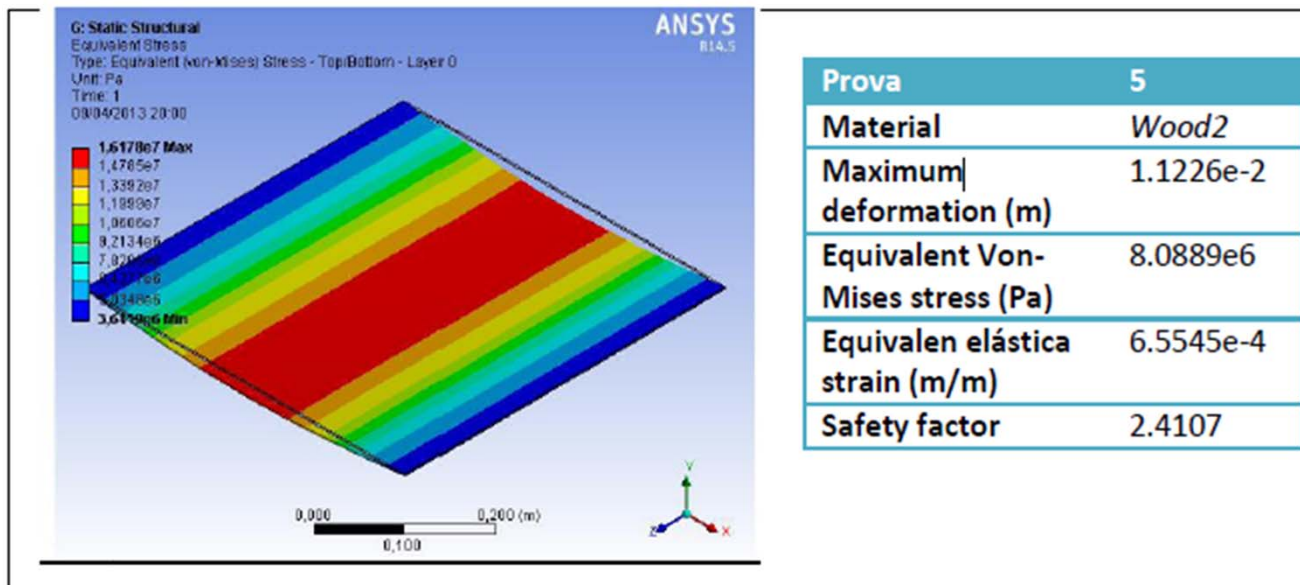
- Considerazioni del legno come materiale isotropico:

Stesso comportamento in tutte le direzioni. È stato creato per vedere la differenza che c'è tra un materiale isotropo e uno ortotropo.

PROVE

modello un foglio di dimensioni 500x500x3, se verifica:

- La affinita nel comportamento tra legno reale e modello.
- Risposta interna secondo l'orientamento
- differenza di comportamento in base alla ortotropia o anisotropia



CONCLUSIONI

- Modello anisotropico → non sono ottenuti risultati reali
- Modello isotropo → non è rappresentante del legno
- Modello ortotropo → risultati simile a quelli del legno. Si verifica il diverso comportamento delle lamine in funzione della direzione dello sforzo. Se dovrebbero introdurre limitazioni per la massima deformazione

BLOCCO C

L'ottenimento dello Springback del legno laminato
attraverso il software di elementi finiti ANSYS

Confronto dei risultati ottenuti con quelli ottenuti nel
BLOCCO A

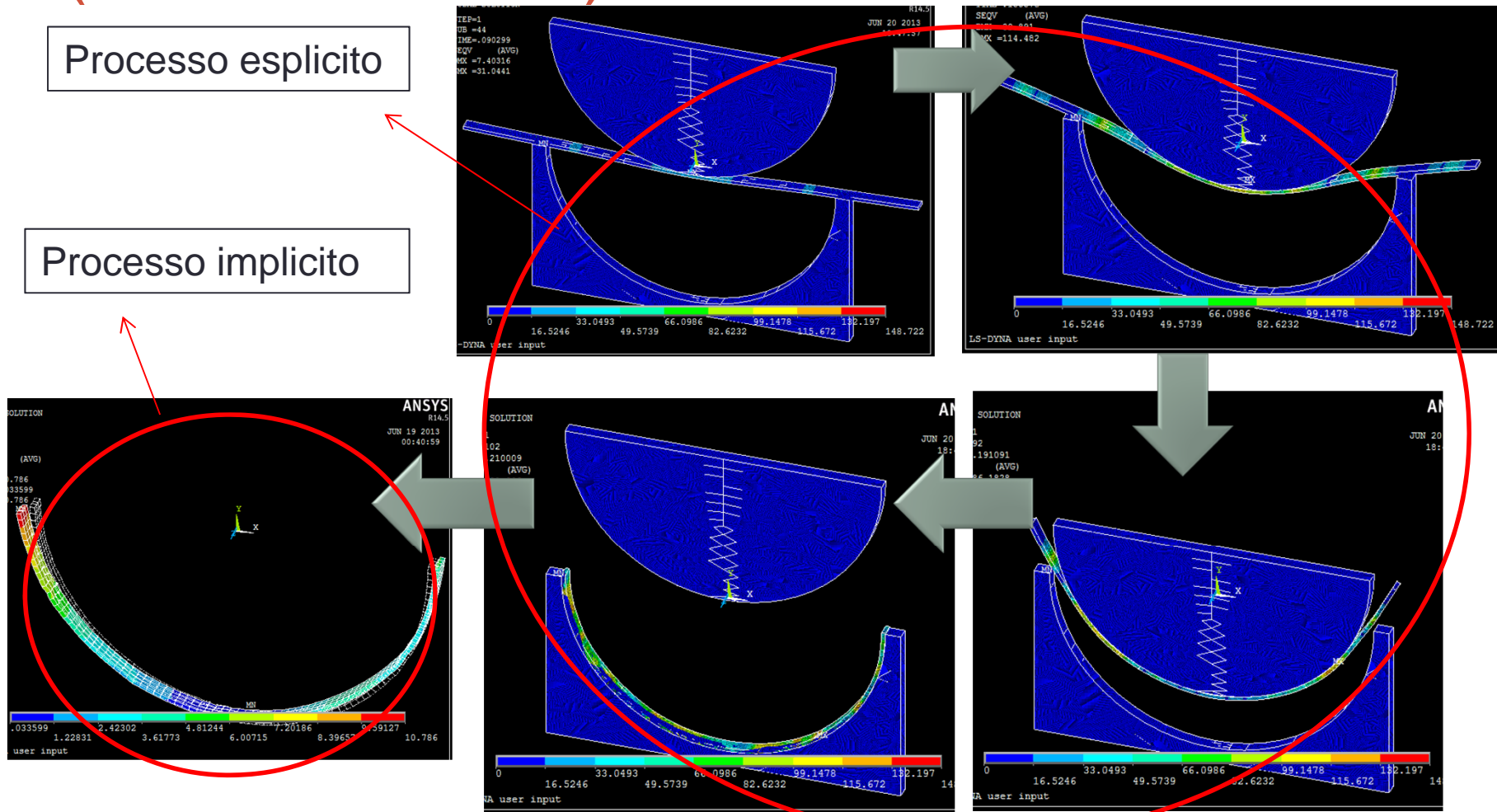
OBIETTIVI

- Creazione di un processo esplicito-implicito con il software commerciale ANSYS.
- Creazione di un modello di proprietà dei materiali e comportamenti simili al legno laminato. Creazione di un materiale con lamine in legno e in colla
- Test per determinare l'influenza di alcuni parametri nel processo di recupero elastico del legno.
- Discutere i dati e confrontarli con l'equazione teorica del Istituto Forestale d'Inghilterra indirizzata nel blocco B

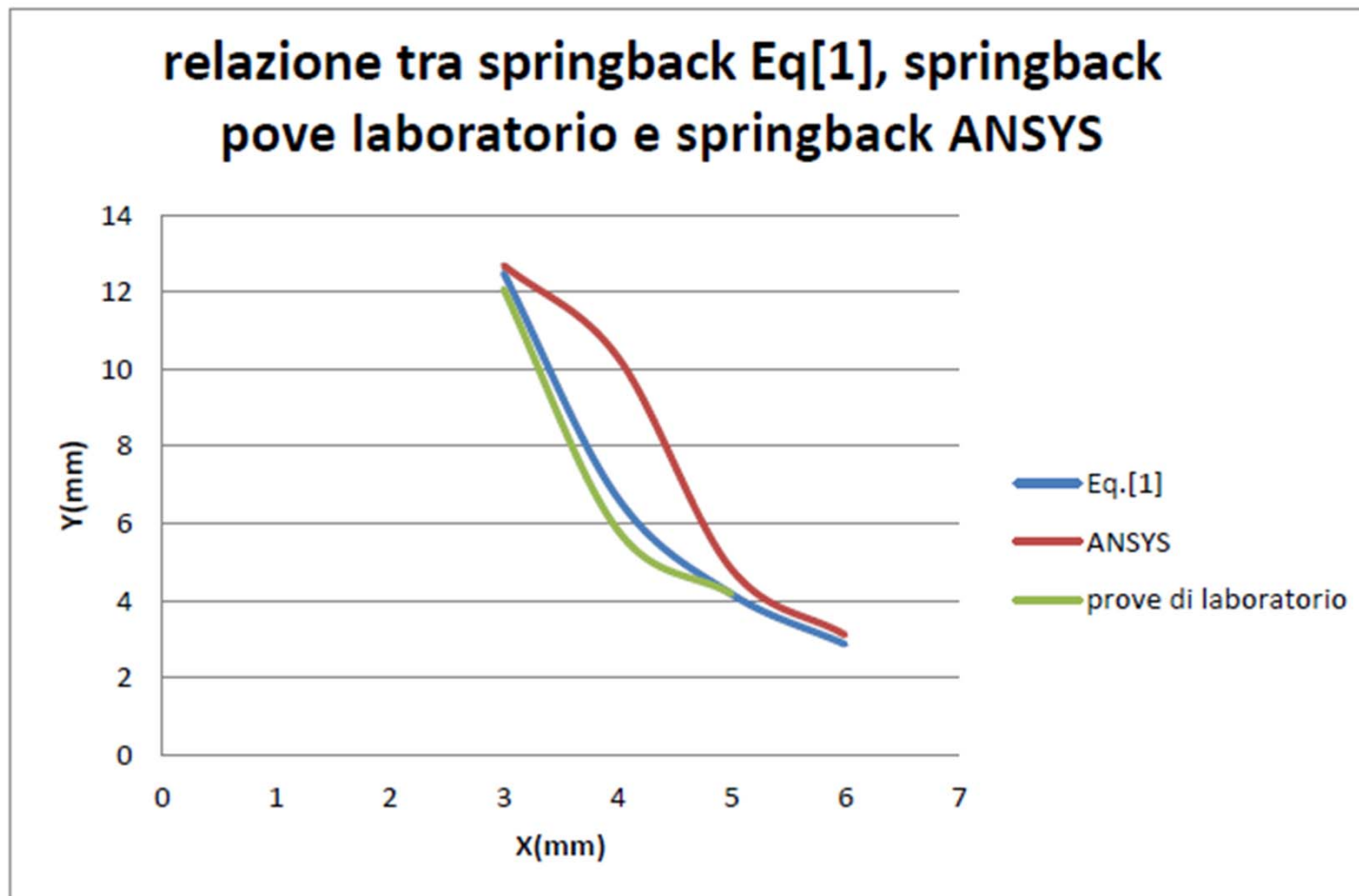
PROCESO ESPLICITO-IMPLICITO (SPRINGBACK)

Processo esplicito

Processo implicito



BLOCCO DI PROVE 1: INFLUENZA DEL NUMERO DI LAMINE NELLO SPRINGBACK.

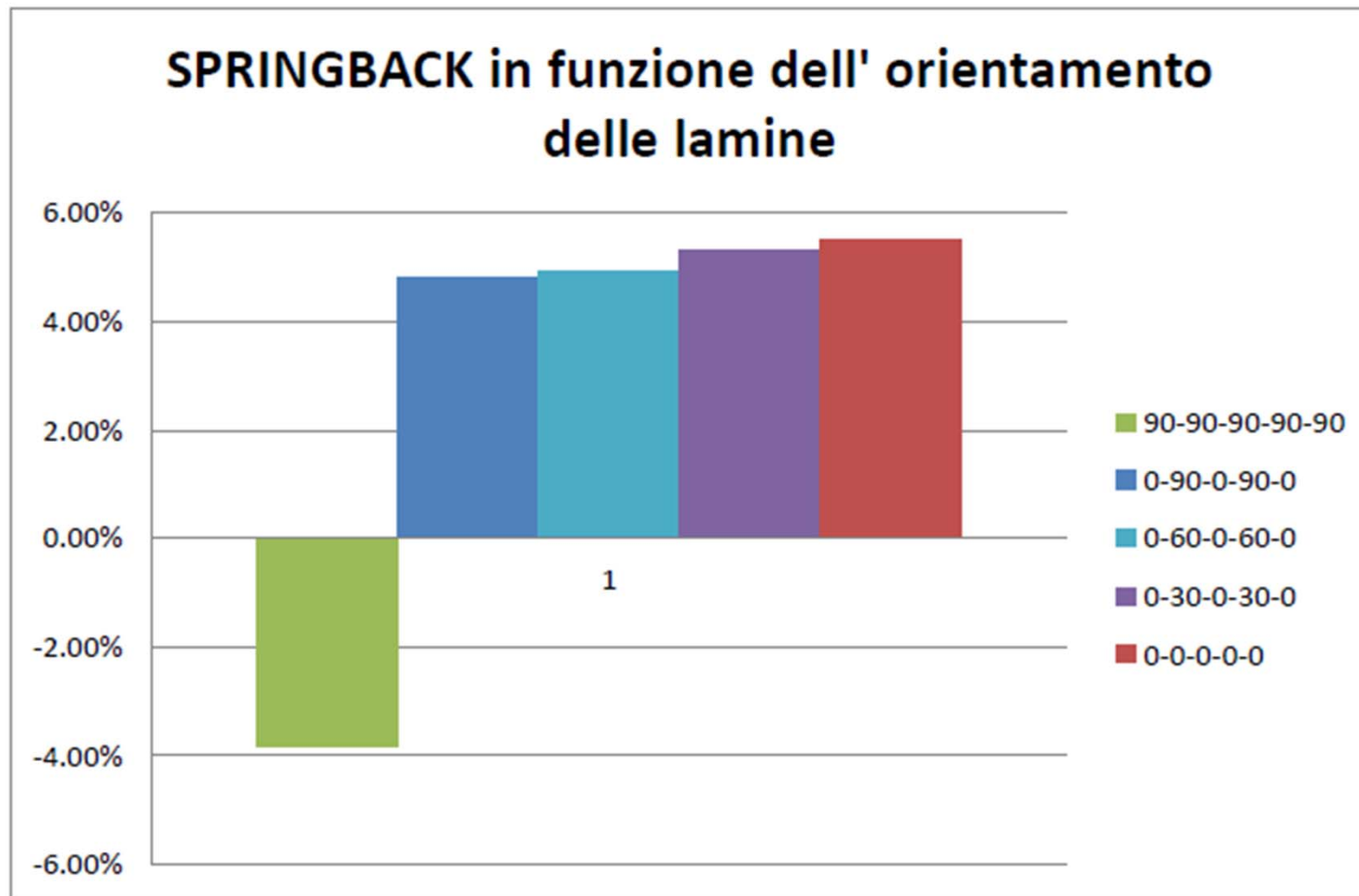


Conclusioni blocco di prove 1

- Si ha trovato una buona correlazione tra i dati dell'Eq.[1], i dati ottenuti nei test di laboratorio reali e dati ottenuti con il software ANSYS. Il che è sufficiente per validare i tre modelli di studio.
- Se Mette in luce il Che l'Eq. [1] lavora in meglio in legno laminato con numero dispari de lamine.

LAMINE	SPRINGBACK Eq.[1]	SPRINGBACK POVE LABORATORIO	SPRINBACK ANSYS	RELAZIONE SPRINGBACK
3	12.5	12.083333	12.7	0.984251969
4	6.666666667	5.83333	10.33	0.645369474
5	4.166666667	4.16666	4.819	0.86463305
6	2.857142857	-	3.1	0.921658986

C.10 BLOCCO DI PROVE 2: INFLUENZA DELL'ORIENTAMENTO DELLE LAMINE NEL SPRINGBACK DEL LEGNO.

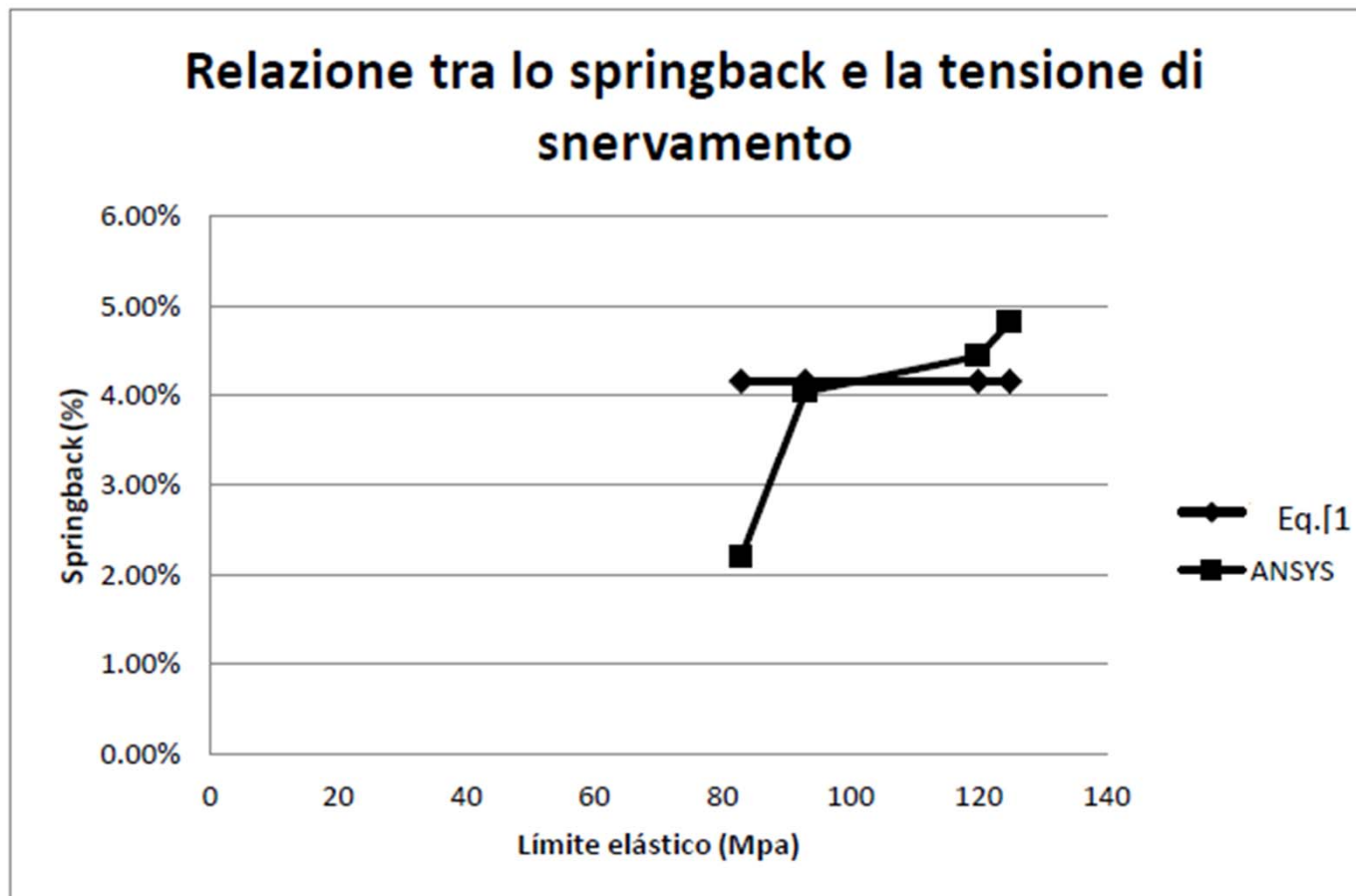


Conclusioni blocco di prove 2

- È stato modellato con buoni risultati lo sprinback per diverso orientamento delle lamine.
- Il migliore orientamento delle lamine con lo scopo di diminuire lo springback senza ridurre molto la resistenza è un gruppo a strati dispari cui orientamento è da 0 ° a 90 °.
- L'orientamento dei fogli ha molto maggiore influenza sul lo springback in legno di numero pari di lamine che in un set di numero dispari di strati.

PROVE	ORIENTAMENTO LAMINE	SPRINGBACK ANSYS
P13_00	0-90-0-90-0	4.82%
P13_01	0-0-0-0-0	5.50%
P13_02	90-90-90-90-90	* -3.82%
P13_03	0-30-0-30-0	5.33%
P13_04	0-60-0-60-0	4.94%

BLOCCO DI PROVE 3: INFLUENZA DELLA TENSIONE DI SNERVAMENTO DEL LEGNO A TRAZIONE



Conclusioni blocco di prove 3

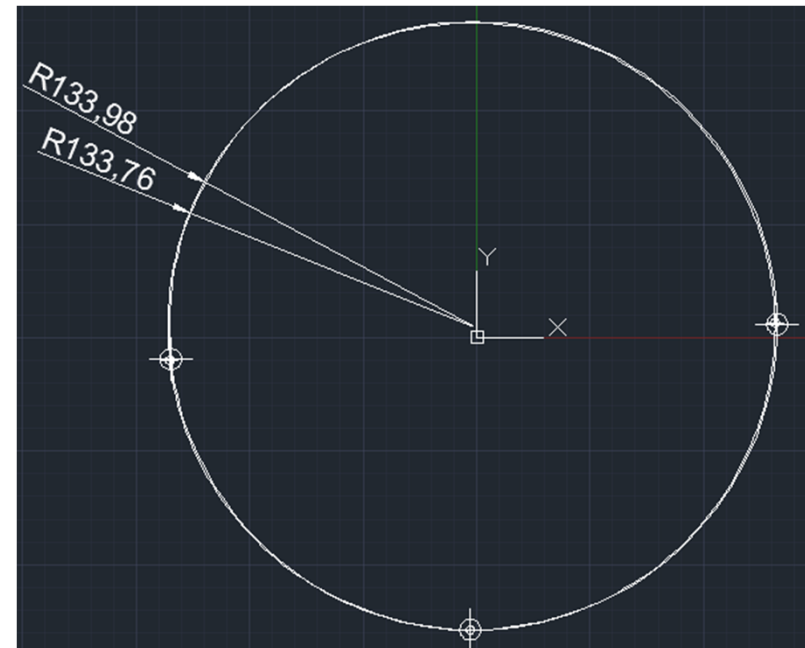
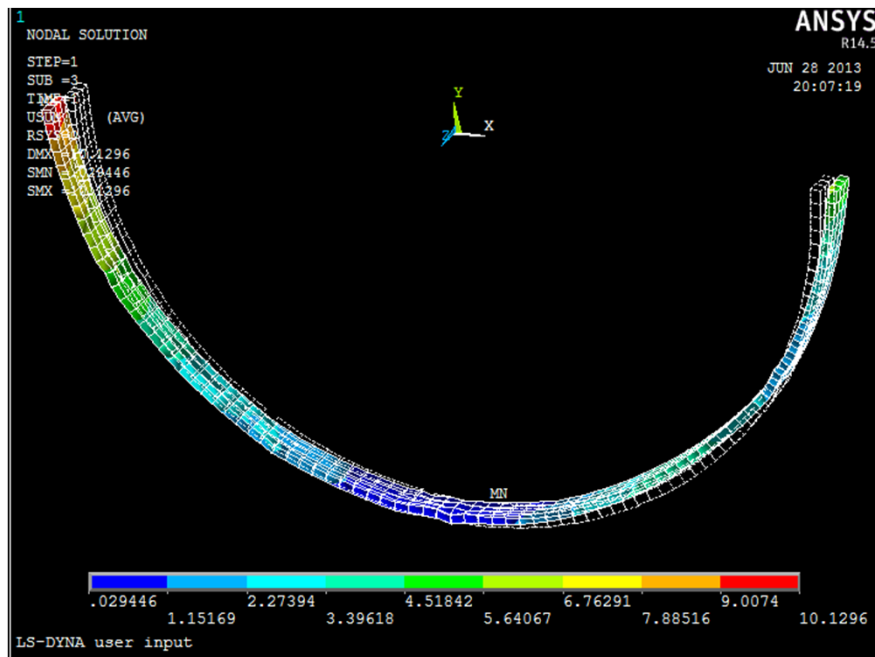
- L'Eq[1] non rappresenta la relazione tra la tensione di snervamento e lo springback. E' una media dei tutti valori ottenuti di tutti legni
- Nell'applicazione dell' Eq.[1] se la tensione di snervamento del legno è alta, lo springback ottenuto sarà più alto del previsto e se il carico di snervamento è sotto lo springback ottenuto sarà inferiore al previsto.

PROVA	TENSIONE SNERVAMENTO	SPRINGBACK Eq.[1]	SPRINGBACK ANSYS
P14_01IMP	83	4.16%	2.20%
P14_02IMP	93	4.16%	4.04%
P14_03IMP	120	4.16%	4.44%
P14_00IMP	125	4.16%	4.82%

SPRINGBACK ANSYS MEDIO	SPRINGBACK Eq.[1]
3.875%	4.1665

BLOCCO PROVE 4: INFLUENZA DEL MODULO DI ELASTICITÀ DELLA COLLA NELLO SPRINGBACK DEL LEGNO LAMINATO

Per un aumento del modulo elastico del 240% la differenza tra i due springback è di poco superiore all'8%.



Conclusioni blocco di prove 4

- Si verifica che variazioni nel modulo di elasticità non cambiano in modo significativo lo springback
- Il risultati delle prove ottenuti nel BLOCCO A possono anche essere utilizzati nel calcolo dello springback delle prove fatte per la sezione costruttiva del Progetto Velante dei Politecnico di Bari
- Si generalizza y risultati ottenuti in tutto il BLOCCO C per tutte colle o resine.
- Si verifica che la Eq.[1] può essere utilizzata indifferentemente delle colla o resina utilizzata.

CONCLUSIONI BLOCCO C

- È stato creato un modello di materiale virtuale che è simile al legno laminato. si ha preso in considerazione il comportamento ortotropo del legno e il comportamento isotropo della colla.
- Correlazione tra i dati ottenuti in ANSYS e i dati ottenuti sia teoricamente che praticamente, con il completamento dei test di laboratorio.
- È stato confermato che il ritorno elastico diminuisce con l'aumento del numero di strati. Rapporto di riduzione è simile a quello studiato nel Blocco A, con notevoli differenze se il laminato ha un numero pari di strati o lamine.

- Assemblee laminati curviti nella direzione longitudinale è ottenuto lo springback maggiore che se è curvato nel senso trasversale delle lamine.
- Il migliore orientamento delle lamine con lo scopo di diminuire il recupero elastico ma non attivano ridurre notevolmente la resistenza del laminato è un gruppo a strati dispari cui orientamento delle lamine è alternativamente da 0° a 90° .
- L'orientamento dei fogli ha molto maggiore influenza sul lo springback in legno laminato di numero pari di lamine che in un set di numero dispari di strati.

- La tensione di snervamento del legno laminato ha influenza il nello springback
- Si ha determinato che la colla o resina non ha una alta influenza nello springback.
- Se può generealizzare i dati dello springback di Eq.[1] a tutti i tipi di colla o resina.

